Münster.1928,№ 24

Phil. Diss.

Chemie

Bestimmung der leichtlöslichen (aufnehmbaren) Pflanzennährstoffe des Bodens und ihre Ausnutzung bei verschiedenen Bodenarten

---

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen und Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster i. W.

vorgelegt von

Heinrich Lohmann
aus Hamme bei Bochum i. W.

Universitätsverlag von Robert Noske in Borna-Leipzig
1928

Dekan: Herr Professor Dr. Ettlinger
Referent: Herr Professor Dr. A. Bömer

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Februar 1928

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Meinen lieben Eltern
in dankbarer Verehrung
zugeeignet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554813_0125

Bestimmung der leichtlöslichen (aufnehmbaren) Pflanzennährstoffe des Bodens und ihre Ausnutzung bei verschiedenen Bodenarten.

Jahrelange Versuche an hiesiger Versuchsstation haben ergeben, daß die 1%ige Zitronensäure- bzw. für Stickstoff die 1%ige Kaliumsulfatlösung geeignete Lösungsmittel bilden, um die Menge der leichtlöslichen, von den Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffe des Bodens (Stickstoff, Phosphorsäure und Kali) zu ermitteln, und vor dem Neubauerschen Keimverfahren manche Vorzüge besitzen.

Nach den bisherigen Versuchen von J. König und J. Hasenbäumer ist für leichte und mittelschwere Böden der Vorrat an löslichen Nährstoffen für Vollernten ausreichend, wenn die Mengen für je 1 kg in 20 cm tiefer Bodenschicht betragen: Stickstoff etwa 150 mg, Phosphorsäure etwa 250 mg, Kali etwa 160 mg. Diese Werte sind nach den bereits schon 1904 von J. König vorgeschlagenen[1]) und dann von ihm gemeinschaftlich mit J. Hasenbäumer[2]) und mehreren Mitarbeitern weiter ausgebildeten Verfahren gewonnen worden. Ich habe indes diese Verfahren noch weiter nachgeprüft und besonders für die Bestimmung des Stickstoffs noch zu verbessern gesucht[3]).

---

[1]) Landw. Versuchsstationen 1905, **61**, 371. Vgl. H. Clement, Die Bestimmung der für die Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffe des Bodens, Inaug.-Diss. Münster i. W. 1904.

[2]) J. König und J. Hasenbäumer, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung 1924, **3**, Teil B, 497; 1906, **5**, Teil B, 445.

[3]) Zur Bestimmung der leichtlöslichen Nährstoffe (Phosphorsäure und Kali) ist auch das Keimverfahren von A. Neubauer in Gebrauch. Ich habe dasselbe nach der Vorschrift von Neubauer ebenfalls angewendet, um seine Brauchbarkeit gegenüber den ersten Verfahren festzustellen.

Bestimmung der leichtlöslichen (aufnehmbaren) Pflanzennährstoffe des Bodens.

I. Bestimmung der Stickstoffverbindungen des Bodens.

Der Stickstoff findet sich im Boden a) organisch gebunden vorwiegend im Humus, b) in Form von Amiden und Aminosäuren, c) in Form von Ammoniak und d) in Form von Salpetersäure; die quantitative Bestimmung dieser verschiedenen Stickstoffverbindungen bereitet deshalb so viel Schwierigkeiten und Unsicherheiten, weil besonders Ammoniak und Salpetersäure im Verhältnis zu den unorganischen Bestandteilen in geringer Menge vorhanden sind und die Humusstoffe die Bestimmung vielfach stören.

1. Bestimmung des Gesamtstickstoffs nach Kjeldahl.

Schon die Bestimmung des Gesamtstickstoffs ist von vielen Zufälligkeiten abhängig. Th. Pfeiffer[4]) stellte durch eingehende Untersuchungen fest, daß es nicht richtig ist, anzunehmen, daß die Ausführung einer geringen Anzahl von Stickstoffbestimmungen zur Gewinnung zuverlässiger Durchschnittswerte genüge; denn es werden manchmal durch Zufall nahe übereinstimmende Werte erhalten, welche doch nicht genau und richtig sind. Ich habe deshalb nach dem Vorschlag Th. Pfeiffers die Böden aufs innigste vermischt und von dem Gemisch je 20 Einzelbestimmungen ausgeführt. Ich verwendete 25 g von drei verschiedenen Böden, die von einem Vegetationsversuch herrührten und ein Jahr trocken in Tonnen aufbewahrt worden waren. Als Vorlage diente n/10-Schwefelsäure. Die Ergebnisse waren folgende:

	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden
Im Mittel in 100 g . .	111.6 mg	87.4 mg	140.5 mg
Schwankungen	106.4—123.7 mg	82.3—92.9 mg	137.2—146.7 mg
Wahrscheinlicher Fehler	± 3.97	± 2.99	± 1.95

(Ausführliche Tabelle vgl. Anhang Tabelle 1.)

[4]) Mitteilungen der landw. Institute Breslau 1909, **4**, 715.

Diese Bestimmungen sind nach dem ursprünglichen Kjehldahl-Verfahren ausgeführt worden. Da sich aber im Laufe der Untersuchungen herausgestellt hat, daß alle Böden mehr oder weniger etwas Salpeterstickstoff enthalten, der nach dem ursprünglichen Kjehldahl-Verfahren nicht mitbestimmt wird, sondern sogar Stickstoff-Verluste verursacht, so empfiehlt es sich, folgende Ausführung anzuwenden:

25 g Boden werden mit 15 ccm Phenolschwefelsäure (40 g Phenol auf 1 Liter konzentrierter Schwefelsäure) und 15 ccm reiner konzentrierter Schwefelsäure (hierfür kann man natürlich auch 30 ccm Phenolschwefelsäure nehmen, die 20 g Phenol im Liter enthält) sowie mit etwas Zinkstaub und einem Tropfen metallischem Quecksilber unter Kühlen versetzt und dann wie üblich verbrannt. Bei der Destillation verdünnt man mit 150—200 ccm Wasser, gibt etwas Zinkstaub, dann 120 ccm statt 80 ccm Natronlauge hinzu und destilliert in bekannter Weise in eine Vorlage, die mit 30—50 ccm n/10 Schwefelsäure gefüllt ist. Auf diese Weise habe ich übereinstimmende Werte gefunden (vgl. Tabelle 1b im Anhang).

2. Bestimmung des in 1%iger Kaliumsulfatlösung löslichen Gesamtstickstoffs.

Zur Bestimmung werden viermal je 50 g Boden in einem Stohmannkolben eingewogen und mit 1%iger Kaliumsulfatlösung bis zur Marke aufgefüllt. Die Kolben werden in dem Wagnerschen Schüttelapparat 1 Stunde ausgeschüttelt; nach mehrstündigem Stehen (über Mittag oder Nacht) wird die Ausschüttelung nochmal 1 Stunde lang wiederholt. Der Inhalt der Flaschen wird sodann abfiltriert, und von den vereinigten Filtraten werden 1600—1800 ccm mit ein bis mehreren Tropfen der Jodlbauerschen Phenolschwefelsäure versetzt, bis die Flüssigkeit eben sauer reagiert. Man dampft dann die Flüssigkeit nach und nach in einer Porzellanschale von etwa 300 ccm Inhalt zunächst auf dem Drahtnetz und zum Schluß auf dem Wasserbade bis auf ein kleines Volumen ein. Nach Abkühlen wird der Inhalt der Schale mit wenig kaltem Wasser auf ein Filter gebracht und der ausgeschiedene Gips mit kleinen Mengen kalten Wassers in einem Kjehldahl-Kolben ausgewaschen. Der Inhalt des Kjehldahl-Kolbens wird sodann bis auf 20—30 ccm weiter eingedampft, abgekühlt, darauf mit 1—2 g durch Wasser gereinigtem Zinkstaub und unter andauerndem Kühlen nach und nach mit 20 ccm Jodlbauer-Schwefelsäure sowie 1—2 Tropfen metallischem Quecksilber versetzt. Darauf wird in bekannter

Weise bis zur Farblosigkeit der Flüssigkeit verbrannt und das gebildete Ammoniak in 20—30 ccm n/10-Schwefelsäure abdestilliert.

3. Bestimmung des in 1%iger Kaliumsulfatlösung löslichen Ammoniakstickstoffs.

Diese Bestimmung wurde auf zweierlei Weise durchgeführt:

α) Zweimal 50 g Boden wurden zweimal 1 Stunde lang, wie oben schon angeführt, mit je 500 ccm 1%iger Kaliumsulfatlösung in einem Stohmann-Kolben geschüttelt. 800 ccm des Filtrates wurden mit 2—3 g gebrannter Magnesia versetzt und das Ammoniak in 20 ccm n/10 Schwefelsäure abdestilliert.

β) Um zu sehen, ob auf diese Weise alles Ammoniak durch Ausschüttelung gelöst wird, wurde noch nachfolgender Versuch angestellt:

100 g Boden wurden mit 10 g Kaliumsulfat und 200 ccm Wasser versetzt und in einem 3 Liter-Kolben nach Zusatz von gebrannter Magnesia einer Wasserdampfdestillation unterworfen. Als Vorlage dienten wie oben 20 ccm n/10-Schwefelsäure.

Die vergleichenden Prüfungen der beiden Verfahren an verschiedenen Böden lieferten folgende Ergebnisse:

Ammoniakstickstoff in mg in 1 kg Boden.

Boden	*α* Bodenfiltratdestillation mg	*β* Wasserdampfdestillation mg
Dreisborn	49.0	50.4
Dreisborn	49.9	50.4
Sandboden	35.0	8.0
Lehmiger Sandboden	38.5	14.0
Sandiger Lehmboden	35.9	19.0
Lenneschiefer	40.3	16.0
Tonboden	38.5	10.0
Sandiger Lehmboden	78.0	63.7
Lenneschiefer	214.0	226.8
Sandboden	14.0	15.0
Lehmiger Sandboden	7.0	13.0
Sandiger Lehmboden	5.0	21.0
Tonboden	14.0	22.7
Schieferboden	71.7	78.4
Lehmboden	141.5	155.4
Summe:	832.3	763.8
Mittel:	55.5	50.9

Hiernach treten bei den einzelnen Böden teilweise nicht unwesentliche Unterschiede nach den beiden Verfahren auf, aber im Mittel sind die Unterschiede nur gering, so daß es im allgemeinen wohl gleich sein dürfte, welches Verfahren man anwendet. Ich habe bei den weiteren Versuchen das Verfahren α (Ausschüttelung von 100 g Boden mit 1000 ccm 1 %iger Kaliumsulfatlösung) verwendet, da es sich leichter ausführen läßt.

4. Bestimmung des Salpeterstickstoffs im Boden nach H. Riehm[5]).

a) Erforderliche Lösungen:

α) Gesättigte Natriumchloridlösung.

β) Verdünnte Natriumchloridlösung, hergestellt durch Verdünnen von 40 ccm gesättigter Lösung auf 1000 ccm Wasser.

γ) Nitratreagens: 0.017 g Diphenylmethan werden mit 33 ccm Wasser versetzt und auf 100 ccm mit konzentrierter nitratfreier Schwefelsäure aufgefüllt.

δ) Nitratlösungen für die Vergleichslösungen: In acht 100-ccm-Kölbchen gibt man je 4 ccm gesättigte Natriumchloridlösung, fügt 0.5, 1.0, 1.5, 2, 3, 4 und 5 ccm einer Kaliumnitratlösung, von der jeder ccm 0.1 mg NO_3 entspricht (16.3 mg KNO_3 in 1 Liter H_2O), ferner je 10 ccm Eisessig hinzu; man füllt dann bis zur Marke mit destilliertem Wasser auf.

b) Ausführung:

α) Herstellung der Bodenlösungen: 5 g Boden werden mit 50 ccm verdünnter NaCl-Lösung (Lösung β) $^1/_2$ Stunde geschüttelt und darauf filtriert. Bei stärkerem Nitratgehalt wendet man am besten 100—250 ccm NaCl-Lösung an.

β) Bestimmung des Nitratgehaltes: Von den Filtraten der Böden werden 2 ccm mit 5 ccm Nitratreagens versetzt, durchgeschüttelt und in kaltem Wasser auf Zimmertemperatur abgekühlt. Gleichzeitig werden die Vergleichslösungen von den 8 Nitratlösungen durch Versetzen von je 2 ccm mit 5 ccm Nitratreagens hergestellt und auf Zimmertemperatur abgekühlt. Nach 15 Minuten wird nochmals durchgeschüttelt und die Farbentönungen der Bodenlösungen sodann mit den Vergleichslösungen verglichen. Ist die hierbei auftretende Färbung der Bodenlösung zu stark, so verdünnt man zweckmäßig das Bodenfiltrat mit verdünnter NaCl-Lösung im Verhältnis 1:2 oder noch stärker; in letzterem Falle wendet man zweckmäßig

[5]) Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung 1926 Bd. VII Teil A, 20—30.

von vornherein eine verdünntere Lösung an, indem man 5 g (bzw. 2 g) mit 100—250 ccm verdünnter Kochsalzlösung ausschüttelt.

Um die Änderungen im Gehalt des Bodens an Ammoniak und Nitratstickstoff während der Wachstumszeit zu verfolgen, wurden von fünf Böden (mit verschiedener physikalischer und chemischer Zusammensetzung) alle 14 Tage Durchschnittsproben genommen, nach vorstehendem Verfahren untersucht und der Gehalt auf lufttrockenen Boden umgerechnet. Am 27. April 1927 erhielten die Böden eine Düngung mit Leunasalpeter und wurden am 29. April mit Kartoffeln bepflanzt. Sie wurden dann in derselben Weise bis zum 8. September untersucht. Die Untersuchungen lieferten im Mittel (über die Ergebnisse der einzelnen Böden vgl. Tabelle 2a und 2b im Anhang S. 42 und 43) folgende Ergebnisse für 1 kg lufttrockenen Boden in Milligramm:

Zeit der Probenahme 1927	Stickstoff in Form von Ammoniak mg	Stickstoff in Form von Salpetersäure mg	Regenmenge im Monat mm
Vor der Düngung			
2. Januar	47.4	2.9	52.0
21. „	13.1	7.2	
4. Februar	16.2	1.0	50.0
18. „	13.9	2.9	
4. März	12.5	0.7	53.0
18. „	20.9	9.2	
1. April	11.2	6.8	104.0
15. „	4.8	10.8	
Nach der Düngung			
6. Mai	172.5	101.3	34.4
27. „	101.6	75.2	
30. „	53.0	61.4	135.0
14. Juni	34.5	29.9	
30. „	12.7	5.3	86,0
14 Juli	5.0	3.5	
28. „	10.7	1.7	95,0
11. August	12.0	3.2	
25. „	8.6	1.1	19,6
8. September	8.5	2.4	(1.—8. Sept.)

Hiernach haben sich Ammoniak und Salpetersäure in den Wintermonaten Januar, Februar bis Anfang März auf annähernd gleicher Höhe gehalten; für Ammoniak tritt im April wahrscheinlich infolge der starken Regenfälle eine Abnahme ein, während die Salpetersäure seit Mitte März zweifellos infolge lebhafterer Nitri-

fikationsvorgänge eine deutliche Zunahme erfährt. Nach der Düngung erfährt das Ammoniak eine stärkere Abnahme als die Salpetersäure, welches unterschiedliche Verhalten einerseits durch den vielen Regen im Juni, andererseits durch den Übergang des Ammoniaks in Salpetersäure bedingt sein dürfte. Die Salpetersäure hält sich in den Sommermonaten zweifellos infolge Aufnahme durch die Kartoffeln auf nur mäßiger Höhe.

5. Bestimmung des löslichen organisch gebundenen Stickstoffs neben Ammoniak- und Salpetersäurestickstoff.

Der durch 1%ige Kaliumsulfatlösung gelöste, organisch gebundene Stickstoff kann dadurch gefunden werden, daß man von dem hierin gelösten Gesamtstickstoff den in Form von Ammoniak und Salpetersäure vorhandenen Stickstoff abzieht und die Differenz als organisch gebundenen Stickstoff ansieht. Man muß dann aber bei einigermaßen größeren Mengen Salpetersäure den durch 1%ige Kaliumsulfatlösung gelösten Gesamtstickstoff nach Jodlbauer mit 4%iger Phenolschwefelsäure (d. h. 40 g Phenol auf 1 Liter konzentrierter Schwefelsäure) bestimmen.

a) Ich vermischte Sandboden mit Leunasalpeter (nämlich entsprechend 100, 200, 300 und 400 kg Leunasalpeter für 1 ha) und fand gegenüber den berechneten zugesetzten Mengen folgende Stickstoffmengen für 1 kg Boden in Milligramm:

Zusatz von Leunasalpeter für 1 ha	0	100	200	300	400 kg
Stickstoff gefunden	43.0	53.6	71.0	80,0	98.0
Stickstoff berechnet	—	48.9	58.2	67.5	76.5

Hiernach nehmen die nach Jodlbauer gefundenen Mengen Stickstoff regelmäßig zu und entspricht die Zunahme im allgemeinen den berechneten zugesetzten Mengen.

b) Durch gleichzeitige Bestimmung von Ammoniak- und Salpetersäurestickstoff in drei Böden wurden für den gelösten organischen Stickstoff gefunden in 1 kg Boden:

	Gartenboden mg	Lehmboden mg	Schieferboden mg
In 1 %iger Kaliumsulfatlösung löslicher Gesamtstickstoff	68.9	178.0	98.5
In 1 %iger Kaliumsulfatlösung löslicher Ammoniakstickstoff . . .	57.2	141.5	71.7
Salpetersäurestickstoff	4.7	13.8	2.4
Löslicher organischer Stickstoff .	7.0	22.7	24.4

Bei geringen Mengen Salpetersäure in der Kaliumsulfatlösung läßt sich der Gesamtstickstoff zwar in der üblichen Weise nach Kjehldahl mit Schwefelsäure ohne Phenolzusatz ohne Verluste ausführen, indes empfiehlt es sich, diese Bestimmung in der S. 3 angegebenen Weise auszuführen, weil der Salpetersäurestickstoff von vornherein nicht bekannt ist und meistens nicht berücksichtigt wird.

II. Bestimmung der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure.

Zur Bestimmung der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure werden zweimal je 50 g Boden in 500 ccm Stohmann-Kolben mit 1%iger Zitronensäure aufgefüllt und zunächst eine Stunde lang im Schüttelapparat geschüttelt. Darauf bleiben sie einige Zeit stehen und werden dann nochmals eine Stunde geschüttelt. Darauf wird filtriert und von den vereinigten Filtraten werden 800 ccm — entsprechend 80 g Boden — in Porzellanschalen bis zur Sirupkonsistenz eingedampft. Die konzentrierte Lösung wird in eine Platinschale gespült, weiter bis zur Trockne eingeengt und verascht. Die Asche wird in einer Porzellan- oder Glasschale mit Salpetersäure zweimal zur Trockne verdampft. Sollte dabei keine klare Lösung entstehen, was bei manganreichen Böden häufiger der Fall ist, so muß beim erstmaligen Eindampfen Salzsäure mit zugegeben werden. In diesem Falle muß zur Vertreibung der Salzsäure noch zweimal mit Salpetersäure eingedampft werden. Der trockene Rückstand wird mit Salpetersäure und heißem Wasser aufgenommen, filtriert und in der Siedehitze mit Molybdänlösung gefällt. Die Bestimmung der Phosphorsäure als Magnesiumpyrophosphat geschieht darauf in bekannter Weise.

III. Bestimmung des zitronensäurelöslichen Kalis.

Zur Bestimmung des zitronensäurelöslichen Kalis geht man von 200 g Boden aus. Es werden dann viermal je 50 g Boden genau in der bei der Bestimmung der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure angegebenen Weise behandelt und von den vereinigten Filtraten 1800 ccm (= 180 g Boden) eingedampft und verascht. Die Asche wird zweimal mit Salzsäure zur Trockne verdampft, der Rückstand mit Salzsäure und heißem Wasser aufgenommen und filtriert. Zu der so erhalten Lösung werden einige Tropfen Eisenchlorid zugesetzt und dann wird in der Siedehitze mit geringem Überschuß von Bariumchlorid die Schwefelsäure ausgefällt. Man läßt auf 60—70° abkühlen, fügt Ammoniak bis zur schwach alka-

lischen Reaktion hinzu und fällt Kalk und überschüssiges Barium mit Ammoniumkarbonat. Dieser Niederschlag wird nach mehrstündigem Stehen filtriert und das Filtrat in einer geräumigen Platinschale zur Trockene verdampft und die abgeschiedenen Ammonsalze verglüht. Der Rückstand wird mit heißem Wasser aufgenommen, filtriert und aus der erhaltenen Lösung das Kalium in bekannter Weise als überchlorsaures Kali oder Kaliumplatinchlorid zur Abscheidung gebracht:

IV. Prüfung der vorstehenden Verfahren durch Untersuchungen über das Verhalten der leichtlöslichen Nährstoffe vor, während und nach der Wachstumszeit.

Die durch die 1%ige Zitronensäure angezeigte Menge leichtlöslicher Nährstoffe wird nicht die Menge Nährstoffe angeben, die wirklich von den Pflanzen aufgenommen wird und nur einzig von ihr aufgenommen werden kann, sondern sie bedeutet nur einen Maßstab für die Löslichkeit der Nährstoffe, bei der sich die Pflanzen genügend mit Nährstoffen des Bodens versorgen können. Denn Rüben können unter Umständen sogar mehr Kali aus dem Boden aufnehmen, als durch die Behandlung mit 1%iger Zitronensäure angezeigt wird, und die Hülsenfrüchte eignen sich nicht nur für sich den Luftstickstoff an, sondern vermehren im Gegensatz zu den anderen Kulturpflanzen außer dem Gesamtauch den leichtlöslichen Stickstoff und erhöhen auch die elektrolytische Leitfähigkeit des Bodens, ein Zeichen, daß die Pflanzenwurzeln mit dem Boden während des Wachstums in engen Wechselbeziehungen stehen und nicht nur leichtlösliche Nährstoffe für sich aufnehmen, sondern auch schwer zugängliche löslich machen. Infolge dieser Wechselbeziehung zwischen Bodenbestandteilen und Pflanzenwurzeln und der gleichzeitigen aufschließenden Wirkung der letzteren behält der Boden auch nach dem Ernten noch einen Vorrat an leichtlöslichen Nährstoffen, und zwar nach dem Ernten von stark gedüngten Wurzelgewächsen und von Hülsenfrüchten sogar so viel, daß darnach Getreidearten auch ohne weitere Düngerzufuhr noch mittelgute Ernten liefern.

Wiederholte hier ausgeführte Untersuchungen haben ergeben, daß die in der vorstehenden Weise bestimmten leichtlöslichen Nährstoffe des Bodens während der Wachstumszeit der Pflanzen deutlich abnehmen, ein Beweis, daß sie von den Pflanzen wirklich in Anspruch genommen werden. Ich habe diese Untersuchungen auch noch dahin ausgedehnt, daß ich die Böden nach der Wachs-

tumszeit im Winter unbepflanzt liegen ließ und im Frühjahr wiederum auf leichtlösliche Nährstoffe untersuchte. Als Anbaupflanzen dienten Kartoffeln, die am 6. Mai 1926 gepflanzt und vom 4. bis 11. Oktober 1926 geerntet wurden. Vor und nach der Wachstumszeit wurden gute Durchschnittsproben der fünf Versuchsböden entnommen und auf Gehalt an leichtlöslichen Nährstoffen untersucht. Vom 12. Oktober 1926 bis zum 14. März 1927 blieben die Böden brach liegen und wurden dann in guten Mittelproben ebenfalls in gleicher Weise untersucht. Die Zeit vom 6. Mai bis 11. Oktober 1926 möge die „Wachstumszeit", die Zeit vom 12. Oktober 1926 bis 14. März 1927 die „Ruhezeit" genannt und die Abnahme an leichtlöslichen Nährstoffen für 1 kg mit —, die Zunahme mit + bezeichnet werden. Hiernach sind (vgl. Tabelle 3 im Anhang) für 1 kg Boden in mg gefunden worden:

Nährstoffe in Form von	Ab- (—) oder Zunahme (+)	Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Sandiger Lehmboden mg	Lenneschieferboden mg	Tonboden mg
1. Stickstoff:						
Gesamtstickstoff	Wachstumszeit	— 110.0	— 10.0	130.0	— 20.0	— 155.0
	Ruhezeit	+ 110.0	+ 50.0	+ 100.0	+ 30.0	+ 170.0
Löslicher Gesamtstickstoff	Wachstumszeit	— 20.4	— 16.0	— 16.9	— 41.0	— 67.0
	Ruhezeit	+ 16.9	+ 4.0	+ 3.1	+ 11.0	+ 13.1
Ammoniakstickstoff	Wachstumszeit	— 10.0	— 16.0	— 13.0	n. bestimmt	— 17.5
	Ruhezeit	+ 18.0	+ 5.5	+ 21.3	+ 31.3	+ 12.3
Salpeter, Stickstoff	Wachstumszeit	— 2.3	— 7.6	— 11.2	— 15.3	— 11.7
	Ruhezeit	+ 0.9	+ 2.2	+ 2.7	+ 2.3	+ 4.1
2. Phosphorsäure:						
In 1%igerZitronensäure lösl.	Wachstumszeit	(+ 81.3)	— 6.8	- 4.0	— 52.5	— 21.8
	Ruhezeit	(— 41.3)	(— 1.1)	+ 15.2	+ 4.3	(— 8.4)
Wurzellöslich (Neubauer)	Wachstumszeit	(+ 30.7)	— 15.3	— 1.9	— 29.5	-- 7 2
	Ruhezeit	(— 23.0)	+ 10.0	(— 0.9)	(— 7.4)	(— 14.1)
3. Kali:						
In 1%igerZitronensäure lösl.	Wachstumszeit	— 21.0	— 4.5	— 39.4	— 54.2	— 4.9
	Ruhezeit	+ 0.4	+ 4.3	+ 18.9	+ 2.9	+ 19.2
Wurzellöslich (Neubauer)	Wachstumszeit	— 10.1	— 27.7	— 40.4	— 60.3	— 24.8
	Ruhezeit	+ 12.2	+ 6.9	(— 37.3)	+ 41.4	(— 29.3)

Die vorstehenden Zahlen lassen die Veränderungen im Nährstoffgehalt des Bodens deutlich erkennen.

1. Der Stickstoff nimmt in allen Verbindungsstufen während der Wachstumszeit ab, in der Ruhezeit von Oktober bis März dagegen zu, aber ohne den ursprünglichen Gehalt wieder zu erreichen. Das ist für die löslichen Stickstoffverbindungen wohl zu verstehen und beweist, daß sich auch im Winter im brachliegenden Boden nach der Ernte Umsetzungen vollziehen, welche eine Aufschließung (Löslichmachung) des unlöslichen Stickstoffs zur Folge haben. Daß auch der Gesamtstickstoff im Boden in der Ruhezeit nach der Ernte eine Zunahme zeigt, ist, wenn man nicht eine erhöhte Bindung des Stickstoffs der Luft annehmen will, in der Weise zu erklären, daß die Wurzelreste und Abfälle von der vorhergehenden Ernte bei der Verarbeitung der im Herbst entnommenen Bodenproben abgesiebt wurden und nicht mit zur Untersuchung gelangten, während sie nach der Zersetzung im Winter gleichmäßig im Boden verteilt sind.

2. Bei der Phosphorsäure zeigen sich keine eindeutigen, regelmäßigen Beziehungen. Das ist aber verständlich, weil die Phosphorsäure von den Pflanzen in bedeutend geringerem Grade als Stickstoff und Kali aufgenommen wird, also keine so große Abnahme zur Folge hat, als es bei letzteren beiden Nährstoffen der Fall ist.

3. Dagegen traten beim leichtlöslichen Kali wieder dieselben regelmäßigen und eindeutigen Beziehungen auf wie beim Stickstoff; es nimmt während der Wachstumszeit der Pflanzen regelmäßig ab, in der Ruhezeit nach der Ernte im Winter infolge der Verwitterung wieder in geringem Grade zu. Die Unterschiede sind bei dem Zitronensäureverfahren gleichmäßiger als beim Neubauer-Verfahren.

Mögen die gefundenen Werte auch zum Teil von der Ungleichmäßigkeit der Bodenproben mit abhängig sein und keine völlig gleichmäßigen Ab- und Zunahmen bei den fünf Bodenarten aufweisen, so beweist doch die Eindeutigkeit derselben nach der einen oder anderen Richtung, daß die 1%ige Zitronensäure- (bzw. für Stickstoff auch die 1%ige Kaliumsulfat-) Lösung wohl geeignet ist, den Gehalt und Löslichkeitsgrad der drei wichtigsten Nährstoffe des Bodens zum Ausdruck zu bringen.

Im Anschluß an diese Untersuchungen ist es auch von Interesse, die nach dem Neubauer-Verfahren gefundenen Mengen Bodennährstoffe, welche Bestimmungen auch bei allen Böden ausgeführt worden sind, mit den zitronensäurelöslichen Bodennährstoffen zu vergleichen. Bei der Bildung der Mittelwerte

wurde der Tonboden ausgeschlossen, da bei diesem Boden zwischen beiden Verfahren unerklärlich große Unterschiede auftraten. Die so gewonnenen Mittelwerte sind nachfolgend angegeben (ausführliche Werte in der Tabelle 3a im Anhang):

Mittlerer Gehalt der vier ersten Böden an wurzel- und zitronensäurelöslichen Nährstoffen (mg in 1 kg Boden).

Nähere Angaben	Phosphorsäure (Boden 1 – 4)				Kali (Boden 1—4)			
	nach Neubauer		zitronensäurelöslich		nach Neubauer		zitronensäurelöslich	
	Mittel mg	Gesamtmittel mg	Mittel mg	Gesamtmittel mg	Mittel mg	Gesamtmittel mg	Mittel mg	Gesamtmittel mg
vor der Ernte . .	100.0		273.2		217,6		117.8	
nach der Ernte Oktober 1926 .	93.5	93.7	277.7	274.1	163.0	185.3	88.1	100.2
nach der Ernte März 1927 . .	88.3		271.7		175.3		94.7	

Hiernach findet bei der wurzellöslichen Phosphorsäure in beiden Probenahmen nach der Ernte eine geringe Abnahme statt, während die Werte für die zitronensäurelösliche Phosphorsäure praktisch unverändert bleiben. Nach dem Verfahren von Neubauer werden in 1 kg Boden 80 mg Phosphorsäure, nach dem zitronensäurelöslichen Verfahren aber 250 mg Phosphorsäure verlangt, also ein Verhältnis von 1:3. Dieses Verhältnis ergibt sich auch hier aus den gesamten mittleren Werten, nämlich:

Phosphorsäure nach Neubauer: 93,7 mg
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure: 274,1 mg

Der Gehalt der Böden an wurzellöslichem Kali nimmt bei der Probenahme nach der Ernte Oktober 1926 stark ab, um dann im Laufe des Winters eine geringe Zunahme zu erfahren. In ganz gleicher Weise verhält sich das zitronensäurelösliche Kali.

Auch hier steht das Gesamtmittel der vier Böden für die beiden Verfahren annähernd in demselben Verhältnis, wie es die Grundzahlen verlangen. Nur beim Tonboden bestehen zwischen beiden Verfahren außergewöhnlich große Unterschiede, die zur Zeit nicht zu erklären sind. Es sind nämlich vom Kali fast fünfmal mehr wurzel- als zitronensäurelöslich (siehe Tabelle 3a im Anhang).

B. Ausnutzung der leichtlöslichen Nährstoffe auf verschiedenen Bodenarten.

Sind die für eine Vollernte ausreichenden Mengen leichtlöslicher Nährstoffe, nämlich nach Seite 1 für je 1 kg Boden in 20 cm Bodentiefe: etwa 150 mg Stickstoff, 250 mg Phosphorsäure, 160 mg Kali nicht vorhanden, so muß die fehlende Menge durch Zufuhr von Stall- oder Mineraldünger ersetzt werden. Zur Berechnung der fehlenden Nährstoffe sind aber

1. außer der Menge der in einem Boden enthaltenen leichtlöslichen (durch die Pflanzen aufnehmbaren) Nährstoffe als Grundwerte noch erforderlich:
2. Menge der durch eine Vollernte von den verschiedenen Kulturpflanzen dem Boden entzogenen Nährstoffe,
3. Höhe der prozentualen Ausnutzung (die sogenannten Ausnutzungskoeffizienten) der leichtlöslichen Nährstoffe durch die verschiedenen Pflanzen,
4. desgl. die Ausnutzungskoeffizienten der Nährstoffe des Stalldüngers,
5. desgl. die Ausnutzungskoeffizienten der Nährstoffe der Mineraldünger bzw. künstlichen Düngemittel.

Um weitere Grundlagen für die Festlegung dieser Werte zu gewinnen, habe ich Versuche mit Hafer und Kartoffeln auf verschiedenen Bodenarten angestellt.

Wenn die vorstehenden Größen bekannt sind, so läßt sich für den Fall, daß in einem Ackerboden die in 1%iger Zitronensäure- (oder für Stickstoff in 1%iger Kaliumsulfat-) Lösung löslichen Nährstoffe nicht in genügender Menge vorhanden sind, die zu ersetzende Menge leicht berechnen. Man führt dabei zweckmäßig die in genannten Lösungsmitteln löslichen Mengen Nährstoffe auf ausnutzbare Mengen[1]) zurück und berechnet die zur Deckung der Fehlbeträge erforderliche Menge von Stall- oder Kunstdüngemitteln unter Zugrundelegung der für diese geltenden Ausnutzungskoeffizienten.

Nach den bis jetzt gefundenen Ergebnissen kann man wie folgt verfahren[6]).

Von den leichtlöslichen Nährstoffen werden durch die Kulturpflanzen nach bisherigen Versuchen[7]) rund ausgenutzt:

Kulturpflanze:	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Futterrüben	46%	10%	85%
Kartoffeln	33%	7%	38%
Getreidearten	22%	6%	25%

Weil die Getreidearten die Nährstoffe des Bodens erheblich weniger ausnutzen als Kartoffeln und diese wieder weniger als Futterrüben (die anspruchsvollste Kulturpflanze), so erklärt es sich, daß die erforderlichen Mengen an leichtlöslichen Nährstoffen in 1 kg Boden bei den verschiedenen Kulturpflanzen nicht in dem Maße voneinander abweichen wie die Bedarfswerte für die einzelnen Früchte. Durch eine gute Mittelernte werden dem Boden für 1 ha entzogen und es entfallen auf je 1 kg ausnutzbare Nährstoffe in mg:

Kulturpflanzen	Ernte an Gesamttrockensubstanz für 1 ha	Dem Boden werden für 1 ha entzogen			Auf 1 kg Boden in 20 cm Tiefe entfallen ausnutzbare Nährstoffe		
		Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
	dz	kg	kg	kg	mg	mg	mg
Futterrüben	120	198	70	372	72	25	135
Kartoffeln	75	132	48	180	48	17	65
Getreidearten	75	87	40	85	31	14	31

[6]) Früher haben J. König und J. Hasenbäumer die fehlenden Mengen Nährstoffe — und das ist auch noch bei dem folgenden Haferversuch (Anhang Tabelle 4) geschehen — in der Weise berechnet, daß sie die Fehlbeträge auf die Menge der Nährstoffe bezogen, die bei hinreichendem Nährstoffgehalt des Bodens in 1%iger Zitronensäure- bzw. 1%iger Kaliumsulfatlösung löslich sein muß, wobei sie für den in den künstlichen Stickstoffdüngern enthaltenen Ammoniak- oder Salpetersäurestickstoff eine 2.5fach höhere, für das in den Kalisalzen vorhandene Kali eine 2fach höhere Ausnutzung annahmen als für die leichtlöslichen Bodennährstoffe. Dabei wurden die für 1 kg Boden fehlende Menge durch 2.5 bzw. 2 dividiert, um die in den betreffenden Düngemitteln zu verabreichende Menge zu erhalten. Die an leichtlöslicher Bodenphosphorsäure fehlende Menge wurde gleich der zitronensäurelöslichen Thomasmehl-Phosphorsäure oder der wasserlöslichen Superphosphat-Phosphorsäure gesetzt.

[7]) Vgl. J. König, Deutsche Landw. Presse 1927 Nr. 52.

Von den Nährstoffen im Stallmist und in den künstlichen Düngemitteln werden im Durchschnitt rund ausgenutzt:

Düngemittel:		Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Stallmist	1. Jahr	20%	15%	40%
	2. Jahr	10%	10%	20%
Künstliche Düngemittel		80%	25%	66%

Aus diesen Grundwerten läßt sich leicht berechnen, wieviel Nährstoffe einem Boden zugeführt werden müssen, wenn er eine geringere Menge an in 1%iger Zitronensäure löslichen Nährstoffen als die obigen Normzahlen enthält. Man berechnet nämlich zuerst, wieviel ausnutzbare Nährstoffe unter Zugrundelegung der Ausnutzungskoeffizienten vorhanden sein müssen und wieviel bei einem geringeren Gehalt angenommen werden können, nämlich:

In 1 kg Boden löslich in 1%iger Zitronensäure					
Es sollen vorhanden sein			Es sind als vorhanden im Boden gefunden worden		
Stickstoff mg	Phosphorsäure mg	Kali mg	Stickstoff mg	Phosphorsäure mg	Kali mg
150	250	160	120	210	130

	Auf 1 kg Boden entfallen als ausnutzbar bei					
	Stickstoff mg	Phosphorsäure mg	Kali mg	Stickstoff mg	Phosphorsäure mg	Kali mg
Rüben . . .	69.0[8])	25.0[8])	136.0[8])	55.2[9])	21.0[9])	110.5[9])
Kartoffeln .	49.5	17.5	60.8	39.6	14.7	49.4
Getreide . .	33.0	15.0	40.0	26.4	12.6	32.5

[8]) Erhalten aus $\frac{150 \times 46}{100} = 69.0$; $\frac{250 \times 10}{100} = 25.0$ und $\frac{160 \times 85}{100} = 136.0$.

[9]) Erhalten aus $\frac{120 \times 46}{100} = 55.2$; $\frac{210 \times 10}{100} = 21.0$ und $\frac{130 \times 85}{100} = 110.5$.

Es würden hiernach an ausnutzbaren Nährstoffen fehlen:

	Für je 1 kg Boden in 20 cm Tiefe mg			Für 1 ha in 2 000 000 l = etwa 2 800 000 kg Boden in 20 cm Tiefe kg		
Rüben . . .	13.8 [10])	4.0 [10])	25.5 [10])	38.64 [11])	11.20 [11])	71.40 [11])
Kartoffeln .	9.9	2.8	11.5	27.72	8.84	32.20
Getreide . .	6.6	2.4	7.5	23.10	6.72	21.00

Da die in künstlichen Düngemitteln zugeführten Nährstoffe nicht voll, sondern, wie vorstehend angegeben, von Stickstoff in Form von Ammoniaksalz oder Salpeter nur 80%, von Phosphorsäure in Form von Thomasmehl nur 25%, von Kali in Form von Kalisalzen nur rund 66% ausgenutzt werden, so muß von den Nährstoffen in diesen Düngemitteln entsprechend mehr dem Boden zugeführt werden, nämlich:

Pflanze	Stickstoff für 1 ha		Phosphorsäure für 1 ha		Kali für 1 ha	
	Stickstoff kg	Ammoniaksalz 20 %ig dz	Phosphorsäure kg	Thomasmehl 15%ig zitr.-lösl. P_2O_5 dz	Kali kg	Kalisalz 40%ig dz
Rüben	48.5 [12])	2.43	44.8 [12])	2.93	108.0 [12])	2.70
Kartoffeln . .	34.75	1.74	53.3	2.35	49.5	1.21
Getreidearten .	23.1	1.15	26.9	1.80	31.8	0.80

Durch eine Stallmistdüngung würde man unter Annahme obiger Grundwerte dem Boden zuführen:

---

[10]) Erhalten aus 69.0—55.2 = 13.8; 25.0—21.0 = 4.0 und 136.0—110.5 = 25.5.

[11]) Erhalten aus 2 800 000 × 13,8 mg = 38,64 kg
„ „ 2 800 000 × 4,0 mg = 11,20 kg und
„ „ 2 800 000 × 25,5 mg = 71,40 kg

[12]) Die Menge wurde unter Zugrundelegung obiger Ausnutzungskoeffizienten wie folgt berechnet:

Stickstoff $\frac{38.64 \times 100}{80} = 48.5$ Phosphorsäure $\frac{11.20 \times 100}{25} = 44.8$ Kali $\frac{71.40 \times 100}{66} = 108.0$

	Stickstoff bei einer Düngung von Stallmist für 1 ha		Phosphorsäure bei einer Düngung von Stallmist für 1 ha		Kali bei einer Düngung von Stallmist für 1 ha	
Menge Stallmist	200 dz	300 dz	200 dz	300 dz	200 dz	300 dz
Ausnutzbare Nährstoffe	20.0 kg	30.0 kg	8.4 kg	12.6 kg	37.2 kg	56.4 kg

Es blieben daher noch zuzuführen ausnutzbare Nährstoffe durch künstliche Düngemittel für

Rüben . . .	18.64 kg	8.64 kg	2.8 kg	—	34.2 kg	15.0 kg
Kartoffeln . .	7.72 „	—	—	—	—	—
Getreidearten	3.11 „	—	—	—	—	—

Aus diesen Zahlen lassen sich die in Form der künstlichen Düngemittel noch zu verabreichenden Mengen wie vorstehend berechnen.

Bei einer Düngung mit 200 dz Stallmist für 1 ha würden nur bei Rüben alle Nährstoffe einer Beidüngung mit künstlichen Düngemitteln bedürfen, bei Kartoffeln und Getreide wäre nur eine weitere Beidüngung von Stickstoff erforderlich. Durch eine Gabe von 300 dz Stallmist wären in diesem Falle nur Stickstoff und Kali durch gleichzeitige Gaben von künstlichen Düngemitteln zu erhöhen.

Auf diese Weise würde man ermitteln können, welche und wieviel der drei wichtigsten Nährstoffe man in einem gegebenen Falle dem Boden zuführen müßte, um eine Vollernte zu erreichen.

Man kann auch mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit annehmen, daß der Stickstoff in Form von Ammoniak oder Salpetersäure in künstlichen Düngemitteln 2,0—3,0 (im Mittel rund 2,5) mal so hoch ausgenutzt wird als der in 1%iger Kaliumsulfatlösung lösliche Bodenstickstoff; die in Thomasmehl und Superphosphat vorhandene Phosphorsäure 2,5—5,0 (im Mittel rund 4,0) mal so hoch und das in Kalisalzen vorhandene Kali im Mittel rund 2 mal[13]) so hoch ausgenutzt wird als die in 1%iger Zitronensäurelösung löslichen Nährstoffe. Wenn daher, wie vorstehend angenommen, im Boden als in genannten Lösungsmitteln löslichen Nährstoffe für 1 kg Boden

[13]) Die Futterrüben nutzen das Kali bei mittleren gegebenen Mengen meistens vollständig aus.

	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
vorhanden sein sollen	150 mg	250 mg	160 mg
aber nur vorhanden sind	120 mg	210 mg	130 mg
so fehlen für 1 kg Boden	30 mg	40 mg	30 mg

Es entsprechen aber

30 mg löslichem Bodenstickstoff $= \frac{30}{2{,}5} =$ 12 mg Stickstoff im Ammoniaksalz oder Salpeter

40 mg lösl. Bodenphosphorsäure $= \frac{40}{4} =$ 10 mg Phosphorsäure in Thomasmehl oder Superphospat

30 mg löslichem Bodenkali $= \frac{30}{2} =$ 15 mg Kali in Kalisalzen.

Indem man letztere Zahlen mit dem Bodengewicht von 1 ha in 20 cm Tiefe (im Durchschnitt etwa 2800000) multipliziert, erhält man die für 1 ha zuzuführende Menge künstlicher Düngemittel, z. B. für Stickstoff 2800000×12 mg $=$ 33,60 kg oder 1,68 dz Ammoniaksalz oder 2,24 dz Salpeter für 1 ha.

Umgekehrt muß man, wenn man die ausnutzbare Menge Nährstoffe des Düngemittels auf leichtlösliche Bodennährstoffe beziehen will, den ausnutzbaren Stickstoff mit 2,5, die ausnutzbare Phosphorsäure mit 4,0 und das ausnutzbare Kali mit 2 multiplizieren.

Die Grundlagen für die Berechnung dieser Werte sind allerdings bis jetzt noch unsicher, lücken- und mangelhaft, aber sie lassen sich unschwer vervollständigen, und wird dann, wenn zuverlässige Werte gefunden sind, die Hauptaufgabe der Düngungslehre gelöst werden, daß sie nach Untersuchung des Bodens auf leichtlösliche Nährstoffe dem Landwirt **vor** der Ernte angeben, welche und wieviel der wichtigsten Nährstoffe er dem Boden zuführen muß, um für jede Kulturpflanze den tunlichst höchsten Ertrag zu erzielen.

Die vorstehenden Grundzahlen sollen allerdings nicht bedeuten, daß die Pflanzen nur diese Nährstoffe aufnehmen oder daß diese Mengen leichtlöslicher Nährstoffe unter allen Umständen zur Erzielung einer hohen Ernte vorhanden sein müßten; denn einerseits führen die Wurzeln der Pflanzen schwerlösliche bzw. unlösliche Nährstoffe in einen löslichen Zustand über, andererseits kann auch eine Kulturpflanze bei genügend vorhandenem aufnehmbaren Stickstoff, der neben Wasser in erster Linie das Pflanzenwachstum befördert, wenn sie nicht sehr phosphorsäurebedürftig ist, mit

weniger als der angegebenen Menge leichtlöslicher Phosphorsäure auskommen, wie auch andererseits eine kalibedürftige Pflanze wie Futterrübe aus schwerlöslichen Kaliverbindungen ihren Bedarf decken kann. Die vorstehenden Grundwerte sollen daher nur besagen, daß ein Boden, welcher für 1 kg Boden in 20 cm Tiefe

	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
etwa	150 mg	250 mg	160 mg

enthält, als genügend mit aufnehmbaren Nährstoffen versorgt anzusehen ist, daß er dagegen, wenn er diesen Gehalt nicht erreicht, unter Berücksichtigung der örtlichen Bodenverhältnisse und der anzubauenden Kulturpflanze eine entsprechende Zufuhr von Nährstoffen auf vorstehende Höhe erfährt. Die nachstehenden Versuche sollen einen weiteren Beitrag zur Lösung dieser Aufgabe bilden.

I. Ausnutzung der leichtlöslichen Bodennährstoffe durch Hafer auf sechs verschiedenen Bodenarten.

Zu den Versuchen dienten die schon seit Jahren zu vergleichenden Versuchen verwendeten sechs Bodenarten, und zwar:

1. Sandboden,
2. lehmiger Landboden,
3. Lehmboden,
4. Kalkboden,
5. Tonboden,
6. Schieferboden.

Diese befinden sich in je $^1/_2$ m Schichthöhe auf einer 2 m hohen Sandschicht in gemauerten Kästen von je 3,75 qm. Die Böden hatten nach völliger Erschöpfung im Winter 1923/24 eine gleichmäßige starke Stallmistdüngung erhalten, waren im Juni 1924 mit Futterrüben und im Herbst 1924 mit Roggen bestellt, der im Frühjahr 1925 eine Kopfdüngung mit Leunasalpeter erhielt. Bei diesen Versuchen waren nur $^2/_3$ der Flächen mit Pflanzen bewachsen, $^1/_3$ blieb brach liegen, um die Zersetzung des Stalldüngers im bewachsenen und gebrachten Boden vergleichend zu verfolgen. Vom Sommer 1925 (nach der Ernte) bis Frühjahr 1926 blieben die Böden unbestellt liegen und wurden dann sowohl die 2 Jahre bewachsen gewesenen als auch die 2 Jahre gebrachten Teile der Böden mit Hafer bestellt. Die nach der Roggenernte vorgenommene Untersuchung der Böden ergab folgenden Nährstoffgehalt:

Gehalt der Böden an leichtlöslichen Nährstoffen Sommer 1925, berechnet für 1 kg Boden in mg.

	1 Sandboden mg	2 Lehmiger Sandboden mg	3 Lehmboden mg	4 Kalkboden mg	5 Tonboden mg	6 Schieferboden mg
			a) gebrachter Teil			
Stickstoff .	38	71	31	50	73	39
Phosphorsäure . .	556	286	384	nicht bestimmt	274	192
Kali	116	148	106	„	227	238
			b) bepflanzt gewesener Teil			
Stickstoff .	42	64	29	43	31	34
Phosphorsäure . .	512	273	359	nicht bestimmt	262	170
Kali	68	87	75	„	208	165

Die bewachsen gewesenen Abteile zeigten übereinstimmend weniger leichtlösliche Nährstoffe als die gebrachten. Es fehlte allen Abteilen der Böden an leichtlöslichem Stickstoff, dem Schieferboden (6) als einzigem Boden an Phosphorsäure, den Abteilen der Böden 1—4 an Kali, während Ton- und Schieferboden mehr als die erforderliche Menge leichtlöslichen Kalis enthielten. Deshalb wurde eine solche Mineraldüngung gegeben, daß dadurch der Gehalt an leichtlöslichen Nährstoffen bei allen Böden und Abteilen auf erforderliche und gleiche Höhe gebracht wurde (vgl. Anhang Tabelle 4).

Für den Zweck wurde zur Berechnung der fehlenden Beträge nicht das vorstehende, sondern das anfänglich vorgeschlagene Verfahren (S. 14 Anmerkung) angewendet. Die Ausnutzung des in Form von Ammoniak oder Salpetersäure zugeführten Stickstoffs wurde 2—3 mal (im Mittel 2,5 mal), die Ausnutzung des in Form von Kalisalzen zugeführten Kalis 2 mal höher angenommen als die Ausnutzung des in 1%iger Kaliumsulfatlösung löslichen Bodenstickstoffs bzw. als die Ausnutzung des in 1%iger zitronensäurelöslichen Kalis, während die Ausnutzung der in letzter Lösung löslichen Bodenphosphorsäure und die der zitronensäurelöslichen Thomasmehl-Phosphorsäure gleichgesetzt wurden.

Nach der Düngung enthielt 1 kg Boden folgende Mengen Nährstoffe:

Nährstoffe des Bodens	Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Lehmboden mg	Kalkboden mg	Tonboden mg	Schieferboden mg
			gebrachter Teil			
Stickstoff .	143[14])	94.5*	145.5*	125.0*	90.5*	141.5*
Phosphorsäure . .	556	286.0	384.0	nicht bestimmt	274.0	250.0
Kali	160*	160.0*	160.0*	160.0*	227.0	238.0*
			bepflanzt gewesener Teil			
Stickstoff .	137.0*	104.0*	156.5*	135.5*	153.5*	149.0*
Phosphorsäure . .	512.0	273.0	359.0	nicht bestimmt	262.0	250.0*
Kali	160.0*	160.0*	160.0*	160.0*	208.0	165.0

Die für den löslichen Stickstoff für 1 kg Boden berechneten Mengen zeigen, besonders beim lehmigen Sand- und Tonboden, Ungleichmäßigkeiten, die durch fehlerhafte Bestimmungen des ursprünglich vorhandenen Stickstoffs hervorgerufen sind und zweifellos bei Tonboden den geringen Ertrag mit zur Folge gehabt haben.

Beim Kalkboden konnte die Bestimmung der in 1%iger Zitronensäure löslichen Nährstoffe (Phosphorsäure und Kali[15])) wegen des hohen Kalkgehaltes nicht ausgeführt werden, weshalb er bei den Berechnungen der Ausnutzung der Nährstoffe ausfallen muß. Die Ergebnisse lassen sich nur für die Zusammensetzung der Ernte verwerten.

Nach Zuführung der Düngemittel wurden die Böden Mitte April 1926 mit Petkuser Gelbhafer (150 kg je ha gleich 56 g auf 3,75 qm) bestellt. Der Hafer zeigte von Anfang an ein gutes Wachstum. Am 24. August wurde der Hafer geerntet. Jeder Teil wurde einzeln abgeerntet. Dann wurde gedroschen, nachdem vorher das Gewicht der einzelnen Garben festgestellt worden war. Das Stroh wurde mit der Häckselmaschine zerkleinert und eine kleinere Durchschnittsprobe im Trockenschrank weitergetrocknet. Die getrockneten Proben blieben dann noch mehrere Stunden an der Luft liegen, wurden darauf zurückgewogen, gemahlen und unter-

[14]) Bei den mit * versehenen Zahlen ist der Gehalt durch Beidüngung von Leunasalpeter bzw. Thomasmehl bzw. Kalisalz (40%) auf den angegebenen Gehalt gebracht; die Zahlen ohne * bedeuten den natürlichen Gehalt des Bodens.

[15]) Weil der Kalkboden sehr arm an Kali war, wurden für 1 kg Boden 50 mg Kali in 40% Kalisalz zugeführt.

sucht. Nachstehend mögen nur die Mittelwerte der bepflanzt gewesenen und der gebrachten Parzellen aufgeführt werden, weil keine eindeutigen Unterschiede bei den einzelnen Bodenarten aufgetreten sind. (Vgl. vollständige Tabellen Anhang Tabelle 5—8.)

1. Ernteerträge von Trockensubstanz für 1 a in kg oder 1 ha in dz im Mittel der beiden Parzellen:

Nähere Angaben		Sandboden	Lehm. Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Schieferboden	Mittel
	Körner	29.87	28.51	29.01	23.74	25.45	29.55	27.69
	Stroh	49.97	55.26	59.63	49.76	45.13	55.02	52.46
Gesamt		79.84	83.77	88.64	73.50	70.58	84.57	80.15

2. Prozentualer Gehalt der Erntetrockensubstanz an Nährstoffen:

Stickstoff	Körner	2.096	1.862	2.323	2.053	2.333	2.426	2.182
	Stroh	0.829	0.517	0.906	0.767	0.899	0.770	0.781
Phosphorsäure	Körner	0.973	1.007	0.855	1.002	1.030	1.130	0.983
	Stroh	0.550	0.300	0.424	0.383	0.518	0.477	0.442
Kali	Körner	0.682	0,712	0.597	0.634	0.720	0.697	0.674
	Stroh	2.886	2.473	2.118	2.468	2.417	2.724	2.514

3. Gesamte aufgenommene Mengen Nährstoffe in der Ernte von einem a in kg oder für 1 ha in dz[16]):

Stickstoff	1.040	0.816	1.214	0,869	0.794	1.130	0.975
Phosphorsäure .	0.555	0.452	0.500	0.428	0.475	0.586	0.499
Kali	1.645	1.569	1.426	1.378	1.274	1.704	1.499

[16]) Boden bis 20 cm Tiefe von 1 a wiegt in kg

29 840	26 340	28 280	24 400	27 700	26 460

Aus vorstehenden Ergebnissen ersieht man, daß die Ernten an Trockensubstanz auf allen Böden mit Ausnahme des lehmigen Sandbodens, bei dem (vgl. Anhang Tabelle 4) ursprünglich die Stickstoffbestimmung fehlerhaft gewesen ist, dem Stickstoffgehalt des Boden parallel gehen, ein Beweis, daß das Wachstum der Pflanzen in erster Linie von dem Stickstoffgehalt abhängig ist.

Beim Sandboden, der den höchsten Gehalt an leichtlöslicher Bodenphosphorsäure enthält, ist der Gehalt der Ernte an Phosphorsäure prozentual wie absolut unter den ersten fünf Böden mit genügend löslicher Phosphorsäure am höchsten; er wird nur vom

Schieferboden, bei dem die fehlende lösliche Bodenphosphorsäure durch künstliche Düngung mit Thomasmehl auf den geforderten Gehalt gebracht ist, erreicht bzw. schwach übertroffen.

Der Gehalt der Ernten an Kali ist, nachdem er durch künstliche Düngung mit Kalisalzen bei den ersten vier Böden mit fehlendem löslichen Bodenkali auf nahezu gleichen Gehalt der beiden letzten Böden mit genügend löslichem Bodenkali gebracht ist, bei allen prozentual wie absolut am gleichmäßigsten.

Die Leistungen der einzelnen Nährstoffe an Pflanzentrockensubstanz, durch je 1 g derselben erzeugt, waren:

Pflanzentrockensubstanz erzeugt durch 1 g	Sandboden g	Lehmiger Sandboden g	Lehmboden g	Kalkboden g	Tonboden g	Schieferboden g	Mittel g
Stickstoff	77	(103)[17])	73	85	89	75	80
Phosphorsäure .	144	185	177	172	149	144	162
Kali	48	54	62	53	55	50	54

Nach früheren Versuchen wurden

durch je	1 g Stickstoff	1 g Phosphorsäure	1 g Kali
erzeugt an Pflanzentrockensubstanz	82	209	56

Hiernach haben Stickstoff und Kali dasselbe geleistet wie in früheren Versuchen, nur die Phosphorsäure weist eine geringere Leistung auf, ein Zeichen dafür, daß die reichlich vorhandene Bodenphosphorsäure in gewissem Überfluß, d. h. ohne Verwertung in der Erzeugung an Pflanzensubstanz zu finden, aufgenommen ist.

5. Prozentuale Ausnutzung der leichtlöslichen Bodennährstoffe.

Nähere Angaben		Sandboden	Lehm. Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Schieferboden	Mittel
Stickstoff	im Boden bis 20 cm Tiefe	4.178	2.615	4.270	3.179	3.517	3.844	3.600
	vom Hafer aufgenommen	1.040	0.816	1.214	0.869	0.794	1.130	0.977
	Ausnutzung	24.9 %	31.2 %	28.4 %	27.3 %	22.6 %	29.4 %	27.3 %

[17]) Dieser Wert scheidet wegen ursprünglicher fehlerhafter Bestimmung des leichtlöslichen Bodenstickstoffs aus.

Nähere Angaben		Sandboden	Lehm. Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Schieferboden	Mittel
Phosphorsäure	im Boden bis 20 cm Tiefe	15.934	8.362	10.506	nicht bestimmt	7.423	6.615	9.768
	vom Hafer aufgenommen	0.555	0.452	0.500	0.428	0.475	0.586	0.499
	Ausnutzung	3.5 %	5.4 %	4.8 %	—	6.4 %	8.7 %	5.76 %
Kali	im Boden bis 20 cm Tiefe	4.774	4.214	4.524	3.904	6.024	5.331	4.795
	vom Hafer aufgenommen	1.645	1.569	1.426	1.378	1.274	1.704	1.499
	Ausnutzung	34.4 %	37.2 %	31.5 %	35.3 %	(20.5)[18]	32.0 %	34.1 %

In früheren Versuchen wurde die prozentuale Ausnutzung der leichtlöslichen Bodennährstoffe durch Hafer wie folgt gefunden:

Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
32,0 %	5,6 %	41,0 %

Die Unterschiede in der prozentualen Ausnutzung des leichtlöslichen Stickstoffs und Kalis zwischen früheren Versuchen und den vorstehenden können durch die verschiedenen Hafersorten und die Witterungsverhältnisse bedingt sein. Jedenfalls sieht man, daß das Verfahren zur Bestimmung der leichtlöslichen Nährstoffe des Bodens, das anfänglich vorwiegend auf leichten und mittelschweren Böden geprüft worden war, auch auf schweren Böden mit Erfolg angewendet werden kann und auch dafür die Grundwerte ihre Gültigkeit behalten.

II. Ausnutzung der leichtlöslichen Bodennährstoffe durch Kartoffeln auf fünf verschiedenen Bodenarten.

Die Beschaffenheit der fünf Böden.

Zu diesen Versuchen dienten fünf Bodenarten der Provinz Westfalen, nämlich:

1. Sandboden . . . . Geist bei Münster,
2. lehmiger Sandboden Sprakel (Hackebrock),
3. sandiger Lehmboden Benninghausen,
4. Lenneschieferboden . Dreisborn Rgbz. Arnsberg (Plan XVI).
5. Tonboden[19] . . . . Stromberg Kr. Beckum.

[18]) Die geringe Ausnutzung des Kalis bei Tonboden hat darin ihren Grund, daß dieser verhältnismäßig viel Gesamt- wie auch leichtlösliches Kali enthält, aber nur eine verhältnismäßig niedrige Ernte geliefert hat.

[19]) Dieser Boden war nicht einem altkultivierten Ackerboden, sondern

Diese Bodenarten wurden im Frühjahr 1926 in ausgemauerten Kästen von je 10 qm Oberfläche in 40 cm hoher Schicht auf einer 15 cm dicken Sandschicht aufgefüllt, die auf dem Untergrund des Versuchsgartenbodens aufgelagert war, so daß die Versuchsböden gleichmäßig mit dem natürlichen Untergrunde in Verbindung standen und Bodengase und Bodenwasser mit ihm austauschen konnten.

Aus der ausführlichen Untersuchung der fünf neuen Böden (vgl. Tabelle 9 im Anhang S. 51) mögen hier einige der wesentlichsten Ergebnisse, welche für die Beurteilung derselben in Betracht kommen, aufgeführt werden.

Nähere Angaben	Sandboden (Geist) %	Lehmiger Sandboden (Sprakel) %	Sandiger Lehmboden (Benninghausen) %	Schieferboden (Dreisborn) %	Tonboden (Stromberg) %
	1	2	3	4	5
Mechanische Beschaffenheit: 0.2—0.01 mm Korngröße	46.16	64.24	72.86	34.16	26.52
Mechanische Beschaffenheit: 0.01—0.002 mm „	3.92	3.90	10.88	23.76	20.38
Mechanische Beschaffenheit: unter 0.002 mm „	4.44	7.06	12.48	22.20	37.90
Gewicht: spezifisches	2.610	2.588	2.574	2.549	2.551
Gewicht: Volumen von 1 l . kg	1.450	1.404	1.364	1.448	1.442
Wasserhaltende Kraft	27.91	31.79	35.19	37.28	40.88
Wasserstoffionenkonzentration PH	4.4	6.2	7.0	5.0	7.0
Reaktion	stark sauer	schwach sauer	neutral	deutl. sauer	alkalisch
Humus	2.13	1.56	2.28	2.99	2.52
Stickstoff	0.127	0.094	0.170	0.194	0.190
In konzentrierter Salzsäure löslich: Phosphorsäure	0.136	0.064	0.148	0.154	0.070
In konzentrierter Salzsäure löslich: Kali	0.080	0.087	0.177	0 151	0 285
In konzentrierter Salzsäure löslich: Kalk	0.108	0.246	0.534	0.325	1.790
In konzentrierter Salzsäure löslich: Magnesia	0.114	0.112	0.324	0.670	0.395
Durch konzentrierte Schwefelsäure aufgeschlossen: Ton	5.13	6.30	12.10	26.65	28.19
Durch konzentrierte Schwefelsäure aufgeschlossen: Kali	0.088	0.106	0.133	0.425	0.679
Durch konzentrierte Schwefelsäure aufgeschlossen: Kalk	0.026	0.328	0.130	0.025	—
Durch konzentrierte Schwefelsäure aufgeschlossen: Magnesia	0.089	0.137	0.212	0.318	0.373

Die beiden ersten Böden sind als Sandböden mit mäßigem Gehalt an Nährstoffen, die drei letzten Böden als gehaltreiche Lehm- bzw. Tonböden gekennzeichnet. Dabei hat der Sand-

von einem alten Erdwalle entnommen; deshalb können sein Gehalt an löslichen Nährstoffen und sein Ertrag nicht mit den von den anderen von alkultivierten Ackerböden entnommenen Bodenarten verglichen werden.

boden (1) eine ausgeprägte saure, der Tonboden (5) eine alkalische Beschaffenheit.

a) Anbau von Kartoffeln im Jahre 1926.

Die fünf Böden wurden am 6. Mai 1926 nach sorgfältiger Durcharbeitung ohne weitere Düngung[20]) mit Kartoffeln bestellt. Es waren Industriekartoffeln erster Nachbau. Die Pflanzweite war 50×30 = 80 Kartoffeln auf 10 qm, mittleres Knollengewicht = 69 g. Während der Wachstumszeit konnte man beobachten, daß das Laub beim lehmigen Sandboden und Schieferboden am kräftigsten entwickelt war, dann folgten der sandige Lehmboden und der Sandboden. Das Laub beim Tonboden blieb gegenüber den anderen Böden stark zurück. Die abgestorbenen Blätter wurden von Juli an sorgfältig gesammelt und aufgehoben. Nachdem das Laub fast vollständig abgestorben war, wurden nach Sammlung der restlichen Stengel die Kartoffeln in der Zeit vom 4. bis 11. Oktober geerntet, gewaschen und nach dem Trocknen im frischen Zustande gewogen. Die gesammelten Blätter und Stengel sowie die Knollen wurden in üblicher Weise getrocknet, gemahlen und untersucht. Hier mögen aber nur die Ergebnisse der Untersuchung der Knollen folgen, weil das Laub und die Stengel bei der Ernte der Kartoffeln im allgemeinen nicht mit berücksichtigt werden. Im Anhang Tabelle 10—15 sind auch die Ergebnisse der Zusammensetzung und Ausnutzung unter Mitberücksichtigung von Blättern und Stengeln aufgeführt.

1. In 1%iger Zitronensäure- (bzw.) für Stickstoff auch in 1%iger Kaliumsulfatlösung lösliche Bodennährstoffe für 1 kg in mg.

Nähere Angaben		Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Sandiger Lehmboden mg	Schieferboden mg	Tonboden mg	Mittel (mit Ausnahme von Nr. 5) mg
		1	2	3	4	5	
König und Hasenbäumer	Stickstoff . .	52.0	48.0	59.0	95.8	98.0	63.7
	Phosphorsäure	489.6	105.6	393.6	104.0	72.0	273.2
	Kali	88.4	39.1	147.8	196.0	84.3	117.8
nach Neubauer	Phosphorsäure	95.3	68.6	137.4	98.2	35.1	99.9
	Kali	141.7	94.0	303.3	330.5	(429.7)	217.6

[20]) Nur Boden 1 (Sandboden) erhielt 1 kg kohlensauren Kalk und der Lenneschiefer 100 g Ätzkalk.

2. Ernteerträge an Trockensubstanz für 1 a in kg für 1 ha in dz.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden	Mittel (mit Ausnahme von Nr. 5)
	1	2	3	4	5	
Knollen . . .	66.16	70.33	85.26	87.62	53.97	77.34

3. Prozentualer Gehalt der Erntetrockensubstanz an Nährstoffen.

Stickstoff . .	1.288	1.403	1.342	1.314	1.190	1.337
Phosphorsäure	0.616	0.564	0.526	0.541	0.666	0.562
Kali	2.578	2.080	2.658	2.787	2.739	2.525

4. Gesamte aufgenommene Mengen Nährstoffe in der Ernte von 1 a in kg oder 1 ha in dz.

Stickstoff . .	0.852	0.987	1.144	1.151	0.642	1.033
Phosphorsäure	0.408	0.397	0.448	0.474	0.359	0.457
Kali	1.706	1.463	2.266	2.442	1.478	1.974

Nach den vorstehenden Ergebnissen der Untersuchung muß

a) der Gehalt der Böden an löslichem Stickstoff in allen Fällen als gering und nicht ausreichend bezeichnet werden; von Phosphorsäure war bei Sand- und sandigem Lehmboden, wahrscheinlich infolge früherer starker Düngung mit Thomasmehl reichlich, bei den anderen Böden zu wenig vorhanden.

Das Neubauersche Verfahren hat für Phosphorsäure bei den Böden 1, 2 und 4 gleichlautende, bei Boden 3 und 5 abweichende Ergebnisse geliefert; für Kali weicht nur das Ergebnis bei Tonboden zwischen diesen beiden Verfahren voneinander ab.

b) Was die Ernteerträge anbetrifft, so kann die Ernte des Tonbodens (5) nicht mit den anderen verglichen werden, weil der Boden nicht von altkultiviertem Acker, sondern aus einer Wallhecke herrührte, also gleichsam Ödland bildete. Bei den anderen vier Böden ist auffallend, daß sie trotz der zu geringen Mengen an löslichem Stickstoff und der teilweise zu geringen Mengen an Phosphorsäure und Kali (also entgegen den vorstehenden (S. 1) Normwerten) verhältnismäßig gute Erträge geliefert haben.

Es wurden geerntet für 1 a = kg oder 1 ha = dz:

	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
	1	2	3	4	5
Knollen . . .	298.40	307.40	384.40	385.30	239.10
Laub	14.90	59.40	21.10	30.30	14.55

Dafür kann man nur die Erklärung geben, daß die Böden durch das Einfüllen und die Verarbeitung in den Kästen bis 0,5 m Tiefe in außergewöhnlicher Weise gelockert wurden, wie es in der Praxis auf dem Felde nicht vorkommt, welche Lockerheit aber gerade die Kartoffel liebt. Infolgedessen hat auch eine lebhaftere Zersetzung und Oxydation gerade der Stickstoffverbindungen der Böden stattgefunden, wie auch folgende Gehalte an gesamtem leichtlöslichen Stickstoff, Ammoniak und Salpetersäure vor und nach der Ernte für 1 kg Boden (vgl. Tabelle 3 im Anhang) beweisen:

	Gesamter leichtlösl. Stickstoff		Ammoniakstickstoff		Salpetersäurestickstoff	
	Schwankungen	Mittel	Schwankungen	Mittel	Schwankungen	Mittel
	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Bei der Anpflanzung .	48.0—98.0	70.6	18.0—31.5	24.1	5.8—19.8	12.9
Nach der Ernte . . .	31.0—44.8	36.3	5.0—14.0	10.0	1.4— 4.5	3.3

Die Gehalte an Ammoniak und Salpetersäurestickstoff sind gegenüber den in natürlich lagernden und verarbeitenden Ackerböden verhältnismäßig hoch und haben während des Wachstums der Kartoffeln erheblich abgenommen, so daß hier eine größere Ausnutzung des vorhandenen leichtlöslichen Bodenstickstoffs anzunehmen ist. Dazu kommt, daß regelmäßige Regenfälle und Sonnenwärme im Sommer 1926 hier für das Wachstum der Kartoffeln günstig waren.

Von welcher Bedeutung die im Boden vorhandene Wassermenge auf das Wachstum der Pflanzen ist, zeigen folgende von Dr. J. Hasenbäumer[21]) in Vegetationsgefäßen erhaltenen Ergebnisse:

[21]) J. König, Die Pflege der Wiesen und Weiden 1906 S. 51.

Bodenart	Wasser in Prozent oder wasserhaltende Kraft	Gerste					Erbsen				
		Erntetrockensubstanz	Aufgenommene Nährstoffe				Erntetrockensubstanz	Aufgenommene Nährstoffe			
			Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk		Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk
	%	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
Lehmboden	60	13.83	0.328	0.068	0.322	0.153	14.65	0.581	0.080	0.317	0.553
	30	8.41	0.225	0.043	0.206	0.123	4.62	0.147	0.021	0.094	0.231
Lehmiger Sandboden	60	15.72	0.459	0.072	0.459	0.229	12.50	0.461	0.064	0.379	0.507
	30	5.40	0.157	0.021	2.029	0.111	3.13	0.144	0.013	0.150	0.143

Wir sehen hier bei dem höheren Wassergehalt von 60% der wasserhaltenden Kraft eine erhebliche, zum Teil 2—4 mal größere Aufnahme an Nährstoffen als bei nur 30% der wasserhaltenden Kraft.

c) In vorliegendem Versuch wurde auch das Kraut der Kartoffeln (zum geringen Teil noch grün) mituntersucht. Das Verhältnis von Kraut- und Knollentrockensubstanz schwankt von 1:3,5 bis 1:7,5 (vgl. Anhang Tabelle 10). Der prozentuale Stickstoffgehalt war in der Trockensubstanz des teilweise noch grünen Laubes höher als in den Knollen; dasselbe traf mit einer Ausnahme (lehmigem Sandboden) für den prozentualen Kaligehalt zu, dagegen war der prozentuale Phosphorsäuregehalt der Trockensubstanz des Krautes bei allen Proben niedriger als bei der der Knollen.

Weil aber das Kartoffelkraut nicht mitgeerntet zu werden pflegt, so mögen hier wie in sonstigen Versuchen nur die in den geernteten Knollen vorhandenen Nährstoffe berücksichtigt werden.

d) Bei den vier ersten Böden stehen die Erträge an Knollen mit nur geringer Abweichung beim sandigen Lehmboden (2) in geradem Verhältnis zu den in den Böden vorhandenen leichtlöslichen Mengen Stickstoff und Kali, während die Menge leichtlöslicher Phosphorsäure keine solche Beziehung zeigt und in allen Ernten prozentual wie absolut nur wenig voneinander abweicht. Daraus, daß der prozentuale Gehalt der geernteten Knollentrockensubstanz an Kali in geradem Verhältnis mit dem Gehalt an leichtlöslichem Bodenkali steigt und fällt, darf wohl geschlossen werden, daß das Kali neben Stickstoff mitbestimmend für das Wachstum der Kartoffeln ist.

e) Das Verhältnis der Nährstoffe in der Ernte zueinander und die Leistung der einzelnen Nährstoffe gegenüber früheren Versuchen erhellt aus folgenden Zahlen:

Versuche	Ernte an Knollen-trocken-substanz	Aufgenommene Nährstoffe			Nährstoff-verhältnis	Erzeugte Trocken-subst. durch je 1 g		
		N	P_2O_5	K_2O	N P_2O_5 K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	dz	kg	kg	kg		g	g	g
Frühere	75	132.0	48.0	180	100 : 36 : 185	57	156	42
Neue 1926	77,4	103.4	43.1	191,2	100 : 41 : 185	74	178	39

Die Kartoffelknollen haben daher 1926 die Bodennährstoffe in einem etwas anderen Verhältnis aufgenommen wie bei den früheren Versuchen und dabei den aufgenommenen Stickstoff und die aufgenommene Phosphorsäure wahrscheinlich infolge des reichlich vorhandenen Kalis etwas höher verwertet als in früheren Versuchen. Das dürfte im wesentlichen außer von den verschiedenen Gehalten des Bodens an Nährstoffen auch durch die Witterungsverhältnisse mitverursacht worden sein.

5. Prozentuale Ausnutzung der leichtlöslichen Bodennährstoffe.

Nähere Angaben		Sand-boden	Lehm. Sand-boden	Sand. Lehm-boden	Schiefer-boden	Ton-boden	Mittel Nr. 1—4
		1	2	3	4	5	
Stick-stoff	im Boden bis 20 cm Tiefe	148.80	134.74	160.88	277.34	278.61	180.55
	von den Kartoffeln aufgenommen	85.22	98.67	114.42	115.13	64.22	103.36
	Ausnutzung %	57.29	78.90	71.14	41.51	23.05	57.24
Phos-phor-säure	im Boden bis 20 cm Tiefe	1419.80	296.40	1073.30	201.10	204.70	747.60
	von den Kartoffeln aufgenommen	40.75	39.67	44.85	47.40	35.94	42.41
	Ausnutzung %	2.87	13.39	4.18	23.56	17.55	5.67
Kali	im Boden bis 20 cm Tiefe	256.40	109.80	403.10	567.40	239.70	334.1
	von den Kartoffeln aufgenommen	170.55	146.29	226.62	244.20	147.82	196.9
	Ausnutzung %	66.48	133.23	56.22	43.04	61.67	58.93

Was die Ausnutzung der einzelnen Nährstoffe anbetrifft, so steht

a) der von den Kartoffeln aufgenommene Stickstoff zwar in drei Fällen (Nr. 1, 3 und 4) in direktem Verhältnis zu dem vorhandenen leichtlöslichen Bodenstickstoff; bei Boden (2) ist diese Beziehung indes nicht erkennbar, weshalb die prozentuale Ausnutzung erheblichen Schwankungen unterliegt. Dabei ist die mittlere prozentuale Ausnutzung wesentlich höher, als sie bei früheren Versuchen für Kartoffeln gefunden worden ist. Das hängt aber damit zusammen, daß, wie S. 28 begründet worden ist, die an sich zu geringe Menge leichtlöslicher Bodenstickstoffe durch die wiederholte Lockerung und feine Verteilung des Bodens eine verhältnismäßig starke Oxydation (Nitrifikation) erfahren hat.

b) Die durch die Kartoffeln aus den vier ersten Böden aufgenommene Menge Phosphorsäure zeigt nur geringe Unterschiede und ist im Verhältnis zu der vorhandenen leichtlöslichen Menge Bodenphosphorsäure gering. Infolgedessen zeigen die prozentualen Ausnutzungswerte verhältnismäßig noch größere Schwankungen als beim Stickstoff.

c) Die durch die Kartoffeln aus den ersten vier Böden aufgenommene Menge Kali geht zwar den im Boden vorhandenen Mengen leichtlöslichen Bodenkalis parallel; wir haben hier aber bei lehmigem Sandboden den Fall, daß die Kartoffeln aus dem Boden mehr Kali aufgenommen haben, als durch die Löslichkeit des Bodenkelis in 1%iger Zitronensäure angezeigt wird. Das haben wir bei diesem Boden, der vom Versuchsgut Sprakel stammt, wiederholt (bei verschiedenen Kulturpflanzen, besonders bei den noch kalibedürftigeren Futterrüben) beobachtet. Dieser Boden muß daher neben dem in 1%iger Zitronensäure leichtlöslichen Kali noch Kaliverbindungen enthalten, aus denen die Pflanzen, wenn die durch Düngung zugeführte Menge Kali für die Pflanzen (besonders für die kalibedürftigen Rüben und Kartoffeln) nicht ausreicht, ihren Bedarf zu decken vermögen.

Aus den genannten Gründen sind in vorstehendem Versuch die durchschnittlichen Ausnutzungskoeffizienten gegenüber sonstigen Versuchen für Stickstoff und Kali zu hoch, für Phosphorsäure zu niedrig.

II. b) Anbau von Kartoffeln im Jahre 1927.

Im Jahre 1927 wurden auf denselben fünf Böden ebenfalls Kartoffeln angepflanzt, dabei aber die je 10 qm großen Versuchsflächen in je drei gleiche Parzellen geteilt und diese in verschiedener Weise mit künstlichen Düngemitteln gedüngt.

Die Parzellen I erhielten nur Stickstoffdünger in solcher Menge, daß durch Zugabe von Leunasalpeter der vorhandene Bodenstickstoff unter Berücksichtigung des leichter ausnutzbaren Stickstoffs im Leunasalpeter bei allen Parzellen auf eine Höhe von 140—150 mg in 1%iger Kaliumsulfatlösung löslichen Bodenstickstoff für 1 kg Boden gebracht wurde.

Die Parzellen II und III erhielten dieselben Stickstoffmengen, daneben wurden die Parzellen II auch mit Phosphorsäure (in Form von Superphosphat) und Kali (in Form von 40%igem Kalisalz) so gedüngt, daß unter Berücksichtigung ihrer größeren Ausnutzung die zugesetzte Menge 250 mg zitronensäurelöslicher Phosphorsäure und 160 mg zitronensäurelöslichem Kali für je 1 kg Boden entsprach.

Die Parzellen III erhielten außer den Stickstoffmengen von Parzellen I je nach Bedarf Phosphorsäure (in Form von Superphosphat) oder Kali (in Form von 40%igem Kalisalz), und zwar:

		mg für 1 kg Boden
Sandboden:	Kali	= 96,2 mg
lehmiger Sandboden:	Phosphorsäure	= 148,0 mg
sandiger Lehmboden:	Kali	= 49,0 mg
Schieferboden:	Phosphorsäure	= 210,6 mg
Tonboden:	Phosphorsäure	= 216,0 mg.

Nach der Düngung war der Gehalt an leichtlöslichen Bodennährstoffen wie aus Tabellen 16 und 17 im Anhang ersichtlich.

Die Parzellen wurden am 2. Mai 1927 mit Industriekartoffeln 2. Nachbau bepflanzt, und zwar kamen auf jede Parzelle 24 Kartoffeln (gepflanzt in 4 Reihen à 6 Kartoffeln, 50 : 45 ccm). Im Laufe der Wachstumszeit zeigte das Laub auf den Parzellen, welche nur Stickstoff bekommen hatten, eine dunkelgrüne Färbung; dagegen zeigte das Laub der Parzellen, die mit Kali gedüngt waren, in erster Linie diejenigen, die neben Stickstoff nur Kali erhalten hatten, eine hellgrüne Färbung, eine Erscheinung, die bekanntlich allgemein beobachtet wird. Am kräftigsten entwickeit war

1. In 1%iger Zitronensäure- (bzw. für Stickstoff auch in 1%iger Kaliumsulfat-) Lösung lösliche Bodennährstoffe für 1 kg Boden in mg.

Nähere Angaben	Sandboden		Lehmiger Sandboden		Sandiger Lehmboden		Schieferboden		Tonboden		Mittel Nr. 1—4	
	Stickstoffdüngung mg	Volldüngung mg	Stickstoffdüngung mg	Volldüngung mg	Stickstoffdüngung mg	Volldüngung mg	Stickstoffdüngung mg	Volldüngung mg	Stickstoffdüngung mg	Volldüngung mg	Stickstoffdüngung mg	Volldüngung mg
	1		2		3		4		5			
Stickstoff . . .	130.8	130.8	141.5	141.5	142.3	142.3	136.3	136.3	132.1	132.1	137.7	137.7
Phosphorsäure .	549.7	604.1	98 2	246.2	397 2	451 6	53.6	264.2	46.4	262.4	276.7	391.5
Kali	67.6	163.4	36.7	180 9	117.8	166.8	143.2	188.2	89.0	188.4	91.3	174.8

2. Ernteerträge an Trockensubstanz für 1 a in kg oder für 1 ha in dz.

Knollen	75 99	85.49	80.45	89.04	82.01	86.45	66.69	81.47	56.13	66.63	76.53	85.61

3. Prozentualer Gehalt der Knollentrockensubstanz an Nährstoffen.

Stickstoff . . .	1.375	1.277	1.509	1.495	1.541	1.289	1.425	1.348	1.232	1.154	1.462	1.352
Phosphorsäure .	0.672	0.686	0.506	0.542	0.637	0.636	0.537	0.547	0.449	0.588	0.588	0.603
Kali	2.433	2.869	2.096	2.654	2.629	2.605	2.717	2.746	2.659	2.807	2.469	2.718

4. Gesamt aufgenommene Mengen Nährstoffe in den Knollen von 1 a in kg oder 1 ha in dz.

Stickstoff . . .	1.045	1.045	1.214	1.331	1.264	1.057	0.950	1.098	0.692	0.769	1.118	1.113
Phosphorsäure .	0.511	0.559	0.407	0.483	0.522	0.524	0.358	0.454	0.252	0.392	0.449	0.505
Kali	1.849	2.348	1.686	2.363	2.156	2.136	1.812	2.237	1.493	1.870	1.876	2.271

das Laub beim lehmigen Sandboden und sandigen Lehmboden; dann folgten der Sandboden und der Schieferboden. Bei dem Tonboden war das Laub gegenüber anderen Böden wesentlich zurückgeblieben. (Vgl. Abbildung.)

Das Laub wurde wie im Vorjahre gesammelt.

Die Kartoffeln wurden je nach dem Reifwerden geerntet.

Sandboden:	am 14. September 1927
lehmiger Sandboden:	am 14. September 1927
sandiger Lehmboden:	am 19. September 1927
Schieferboden:	am 6. Oktober 1927
Tonboden:	am 22. September 1927

Auf den Parzellen III des lehmigen Sand-, Schiefer- und Tonbodens fanden sich bei Ernte verschiedene faule Kartoffeln, weshalb die Ernten von diesen Parzellen nicht mit berücksichtigt wurden. Auf den Parzellen III des Sand- und sandigen Lehmbodens, bei denen durch gleichzeitige Gaben von Kalisalz auch der Gehalt an Kali neben dem des Stickstoffs auf den Normalwert gebracht worden war, während ein Überschuß von Phosphorsäure schon ursprünglich vorhanden war, wurden mit den von Parzellen II gleiche erhöhte Ernten erzielt. Es wurde daher vor den Ernten auf den Parzellen II und III dieser beiden Böden das Mittel genommen und folgende Ergebnisse erzielt (siehe Tabelle S. 33): Ergebnisse der Ernten aller drei Parzellen vgl. Anhang Tabelle 18).

Die vorstehenden Ergebnisse lassen folgende Schlußfolgerungen zu:

a) Auf den nur mit Stickstoff gedüngten Parzellen hat es dem lehmigen Sandboden und Schieferboden an leichtlöslicher Phorsphorsäure, dem Sand- und lehmigen Sandboden an leichtlöslichem Kali gefehlt, während der Gehalt des sandigen Lehmbodens an leichtlöslichem Kali als fast ausreichend angesehen werden konnte. Deshalb sind hier durch alleinige Stickstoffdüngung, und weil auch der regenreiche Sommer 1927 zweifellos die Lösung und Aufnahme der Nährstoffe durch die Kartoffeln unterstützt hat, noch gute Ernten erzielt worden. Aber die Erhöhung der fehlenden leichtlöslichen Mengen Phosphorsäure und Kali auf die vorstehend angenommenen Grundwerte hat noch eine Erhöhung der Ernten bei der Volldüngung um rund 12 % zur Folge gehabt. Dabei zeigt der sandige Lehmboden (3), welcher in ursprüng-

Düngungsversuch zu Kartoffeln 1927.

I. Stickstoffdüngung (N)

II. Volldüngung (N + P + K)

III. Stickstoffdüngung und Kali- bzw. Phosphorsäuredüngung (N + P oder N + K)

lichem Zustande einen fast ausreichenden Gehalt leichtlöslicher Phosphorsäure und Kali besaß, nur die geringsten Unterschiede zwischen der nur mit Stickstoff und der mit Volldüngung gedüngten Parzelle.

b) Der prozentuale Gehalt der Knollentrockensubstanz an Stickstoff der nur mit Stickstoff gedüngten Parzellen ist höher, der absolute Gehalt der Erntetrockensubstanz an Stickstoff dagegen etwas niedriger als bei den mit Volldüngung versehenen Parzellen. Dagegen ist bei Phosphorsäure und Kali sowohl der prozentuale wie absolute Gehalt der Erntetrockensubstanz bei den vollgedüngten Parzellen höher als bei den nur mit Stickstoff gedüngten Parzellen, und zwar sind die Unterschiede bei den Böden, denen es an diesen beiden Nährstoffen am meisten fehlte, wiederum am größten, ein Beweis, daß die in der Düngung zugeführte Menge noch ihre Wirkung geäußert hat und zweckdienlich war.

c) Das Nährstoffverhältnis in der Trockensubstanz und die von je 1 g Nährstoffen erzeugte Menge Trockensubstanz berechnen sich im Mittel der vier ersten Böden wie folgt:

Gedüngt mit	Ernte an Trockensubstanz	Nährstoffverhältnis in der Trockensubstanz			Erzeugte Trockensubstanz von je 1 g		
		Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Stickstoff allein	76.53	100 :	40 :	168	68 g	170 g	40 g
Volldüngung	85.61	100 :	44 :	200	75 g	169 g	37 g

Durch die gleichzeitige Düngung mit Phosphorsäure und Kali bis zu den auf S. 1 angeführten Normwerten ist also die Aufnahme an beiden Nährstoffen im Verhältnis zum Stickstoff erhöht worden, während bei gleicher Düngung mit Stickstoff ohne gleichzeitige Düngung mit Phosphorsäure und Kali der Stickstoff weniger geleistet, also eine Art Luxusaufnahme erfahren hat.

Dieses Verhalten zeigt wiederum, wie man aus einem Verhältnis der Nährstoffe in der Erntetrockensubstanz und aus der durch 1 g Nährstoffe erzeugten Trockensubstanz bei Vollernten schon die Art der Wirkung feststellen bzw. ermessen kann, ob und welcher der drei Nährstoffe gefehlt hat bzw. im Überschuß vorhanden gewesen ist.

5. Prozentuale Ausnutzung der leichtlöslichen Bodennährstoffe.

Nähere Angaben	Sandboden		Lehmiger Sandboden		Sandiger Lehmboden		Schieferboden		Tonboden		Mittel 1—4	
	Stickstoff-düngung	Voll-düngung	Stickstoff-düngung	Voll-düngung	Stickstoff-düngung	Voll-düngung	Stickstoff-düngung	Voll-düngung	Stickstoff-düngung	Voll-düngung	Stickstoff-düngung	Voll-düngung
	1		2		3		4		5			
Stickstoff.												
Im Boden 20 cm Tiefe	379.32	379.32	397.19	397.19	388.05	388.05	394.59	394.59	375.56	375.56	389.78	389.78
In der Ernte	104.99	104.50	121.40	133.11	126.38	105.68	95.03	109.82	69.15	76.89	111.82	113.27
Ausnutzung % . . .	27.55	27.55	30.65	33.51	32.56	27.23	24.09	27.83	18.41	20 47	28.68	29.06
Phosphorsäure.												
Im Boden 20 cm Tiefe	1594.13	1751.89	275.65	691.09	1083.16	1231.51	155.17	764.86	131.92	746.00	777.02	1109.84
In der Ernte	51.06	55.89	40.71	48.26	52.24	52.45	35.81	45.36	25 20	39.18	44.95	50.49
Ausnutzung % . . .	3.20	3.18	14.79	6.98	4.82	4.26	23.08	5.93	19.10	5.25	5.79	4.55
Kali.												
Im Boden 20 cm Tiefe	196.04	473.86	103.02	507.79	321.24	454.86	414.56	544.84	253.03	535.62	258.72	465.34
In der Ernte	184.88	234.77	168.62	236.31	215.60	213.58	181.20	223 70	149.25	187.03	187.57	227.09
Ausnutzung % . . .	94 28	49.54	163.67	46.53	67.11	46.95	43.10	40.69	58.98	34.92	92.49	48.80

nach vorstehenden Zahlen ist

a) Der leichtlösliche Bodenstickstoff der nur mit Stickstoff gedüngten Parzellen bei gleichen Mengen löslichen Stickstoffs, aber geringeren Mengen löslicher Phosphorsäure und löslichen Kalis ist im Durchschnitt etwas niedriger ausgenutzt worden als bei den Parzellen mit Volldüngung, weil es für die Vollwirkung des genügend vorhandenen Stickstoffs an der nötigen löslichen Menge Phosphorsäure und Kali gefehlt hat.

b) Umgekehrt sind bei den nur mit Stickstoff gedüngten Parzellen die löslichen Mengen Phosphorsäure und Kali, besonders Kali, prozentual höher ausgenutzt als bei den Parzellen mit Volldüngung, weil die genügend vorhandene Menge löslichen Stickstoffs ein lebhafteres Wachstum der Kartoffeln und damit eine verhältnismäßig bessere Ausnutzung der zum Teil in nicht ausreichender Menge vorhandenen löslichen Phosphorsäure und besonders des löslichen Kalis zur Folge gehabt hat.

c) Die mittleren Ausnutzungskoeffizienten der Nährstoffe auf den mit Volldüngung versehenen Parzellen nähern sich den in früheren Versuchen bei Normalwerten gefundenen Ausnutzungskoeffizienten, nämlich rund:

	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
frühere Versuche	33 %	7 %	46 %
vorstehende Versuche	29 %	5 %	49 %

Die etwas geringere prozentuale Ausnutzung erklärt sich daraus, daß der Sandboden (1) und sandige Lehmboden (3) außergewöhnlich reich an löslicher Phosphorsäure sind. Also auch dieses Ergebnis spricht für die Anwendbarkeit des Verfahrens König-Hasenbäumer und für die Brauchbarkeit der Normwerte (S. 1).

Da gleichzeitig auch die Ausnutzungen der durch das Neubauer-Verfahren gelösten Stoffe durch verschiedene Pflanzen im Anhang angegeben sind, mögen hier die prozentualen Ausnutzungen der wurzellöslichen (Neubauer) mit denen der zitronensäurelöslichen Nährstoffe durch die Kartoffeln verglichen werden. (Ausführliche Tabelle siehe Anhang Tabelle 22.)

Mittlere prozentuale Ausnutzung der wurzel- und zitronensäurelöslichen Nährstoffe bei Kartoffeln:

	Phosphorsäure (Boden 1—4)				Kali (Boden 1—4)			
	nach Neubauer		zitronensäurelöslich		nach Neubauer		zitronensäurelöslich	
	Mittel	Ges. Mittel	Mittel	Ges. Mittel	Mittel	Ges. Mittel	Mittel	Ges. Mittel
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ernte 1926 . . .	25.19	18.35	11.00	9.18	31.99	43.82	58.93	66.74
Ernte 1927, Parz. I	19.61		11.47		62.59		92.49	
Ernte 1927, Parz. II	10.26		5.09		36.89		48.80	

Wenn, wie früher gesagt (S. 12), das Verhältnis der wurzellöslichen Phosphorsäure zur zitronensäurelöslichen Phosphorsäure 1:3 und das des wurzellöslichen Kalis zu dem des zitronensäurelöslichen Kalis 1:0,65 ist, so muß die Ausnutzung der nach den beiden Verfahren erhaltenen Nährstoffe in umgekehrtem Verhältnis zu diesen Zahlen stehen. Das trifft bei der Phosphorsäure nicht genau zu, da hier die Ausnutzung der wurzellöslichen Phosphorsäure eine nur doppelt so hohe ist als der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure.

Dagegen entspricht die Ausnutzung des Kalis fast genau dem vorstehend geforderten Verhältnis.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Die Bestimmung des Gesamt- wie des in 1%iger Kaliumsulfatlösung löslichen Stickstoffs gewinnt an Genauigkeit, wenn man einerseits mehr Substanz als bisher anwendet, andererseits die Verbrennung bzw. das Eindampfen der Lösung unter Mitverwendung von Phenolschwefelsäure nach Jodlbauer vornimmt.

2. Die Bestimmung des Ammoniakstickstoffs geschieht durch zweistündiges Ausschütteln von 100 g Boden mit 1 Liter 1%iger Kaliumsulfatlösung und Destillation des Filtrates mit 2 g bis 3 g gebrannter Magnesia.

3. Die vorstehende Bestimmung von Ammoniak sowie auch die Bestimmung für Salpetersäure von H. Riehm sind genügend scharf, um Unterschiede im Gehalt des Bodens sowohl nach einer Düngung mit Ammoniak- oder Salpeterstickstoff als auch Unterschiede während der Vegetationszeit anzuzeigen.

4. Nach Abzug des Ammoniak- und Salpetersäurestickstoffs vom gesamten in 1%iger Kaliumsulfatlösung löslichen Stickstoff erhält man einen Ausdruck für den Gehalt an leichtlöslichem organischen Stickstoff.

5. Die vorstehenden Verfahren für die Stickstoffbestimmung und ebenso die für die Bestimmung der leichtlöslichen Mengen Phosphorsäure und Kali, welch letztere in der bisherigen Weise ausgeführt wurden, lassen die Unterschiede vor und nach der Wachstumszeit bei allen Bodenarten deutlich hervortreten. Der Stickstoff nimmt einmal in allen Verbindungsstufen während der Wachstumszeit ab, in der Ruhezeit während des Winters wieder etwas zu, aber ohne den ursprünglichen Gehalt ganz wieder zu erreichen. Diese geringe Zunahme in der Ruhezeit beruht wohl auf der Wirkung von stickstoffbindenden Bakterien, bei den leichtlöslichen Stickstofformen auch wohl in einer Umsetzung des organischen Stickstoffs.

Auch das leichtlösliche Kali zeigt eine regelmäßige Abnahme während der Wachstumszeit und eine schwache Zunahme während der Ruhezeit, jedenfalls bedingt durch die stets stattfindenden Verwitterungsvorgänge im Boden. Für Phosphorsäure konnten bei den fünf verschiedenen Bodentypen keine so regelmäßige Beziehungen festgestellt werden; jedenfalls wohl deshalb nicht, weil der Verbrauch an Phosphorsäure verhältnismäßig gering ist gegenüber den im Boden vorhandenen Mengen leichtlöslicher Phosphorsäure und gegenüber dem Verbrauch der Pflanzen an Stickstoff und Kali.

6. Das Neubauersche Keimverfahren lieferte mit dem Zitronensäureverfahren in gleicher Richtung steigende und fallende Werte; nur in einem Falle (für Kali auf Tonboden) zeigte sich eine noch nicht aufgeklärte Ausnahme.

7. Als auf sechs verschiedenen, vor 2 Jahren mit Stallmist gedüngten Bodenarten die fehlenden Nährstoffe nach den Grundwerten von J. König und J. Hasenbäumer durch künstliche Düngemittel ergänzt wurden, lieferten dieselben bei Hafer nicht nur gute Normalerträge, sondern die Nährstoffe wurden auch prozentual in einem annähernd gleichen Verhältnis ausgenutzt,

wie es in früheren Versuchen bei normalen Haferernten gefunden worden ist.

8. Dagegen wurden auf fünf verschiedenen neuen Bodenarten, die zum Teil wesentlich niedrigere Mengen leichtlöslicher Nährstoffe enthielten, als den obigen Grundwerten entsprechen, 1926 verhältnismäßig gute und normale Kartoffelernten erzielt. Es kann dieses aber ungezwungen dadurch erklärt werden, daß die Böden durch die Entnahme, Aufladen auf den Wagen, Abladen, Wiederaufladen in Karren, Einfüllen in die Versuchskästen und mehrmaliges Umgraben in ungewöhnlich hohem Grade verarbeitet und auf das innigste vermischt worden sind. Sie enthielten infolgedessen verhältnismäßig viel Ammoniak- und Salpetersäure vom gesamtlöslichen Stickstoff, und dann war auch der Sommer 1926 regenreich, wodurch die Aufnahme von Bodennährstoffen durch die Pflanzen wesentlich gefördert wurde.

9. Als nämlich im Sommer 1927 auf denselben Böden je drei Parzellen gebildet wurden, von denen je eine nur eine Düngung mit der erforderlichen Menge Stickstoff, je die zweite Parzelle alle drei Nährstoffe, je die dritte Parzelle die gleiche Menge Stickstoff und die erforderliche Menge Phosphorsäure oder Kali in den den Grundwerten entsprechenden Mengen erhielt, brachten die zweiten Parzellen, die Volldüngung erhalten hatten, im Durchschnitt noch einen 12 % höheren Ertrag als die mit unvollständigen Mengen löslicher Nährstoffe gedüngten Parzellen. Dabei nähern sich die Ausnutzungskoeffizienten der drei Nährstoffe ganz denen, die in früheren Versuchen bei guten normalen Kartoffelernten gefunden worden sind.

10. Auch wird man das Keimverfahren von A. Neubauer zur Berechnung des Düngerbedarfs des Bodens an Phosphorsäure und Kali verwenden können. Weil aber nach diesem Verfahren nur ein Drittel der Menge löslicher Phosphorsäure, dagegen die 1.5 fache Menge löslichen Kalis gegenüber den durch 1 %ige Zitronensäure gelösten Mengen dieser Nährstoffe verlangt wird, so müssen selbstverständlich die prozentualen Ausnutzungskoeffizienten für Phosphorsäure entsprechend höher, für Kali dagegen entsprechend niedriger ausfallen. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß das Keimverfahren in manchen Fällen (Sandböden) für Phosphorsäure versagt hat und hierfür das sichere, einfacher und schneller auszuführende Zitronensäureverfahren den Vorzug verdient.

Analytische Belege.

Tabelle 1a.

Gesamtstickstoff nach Kjeldahl.
mg in 100 g Boden.

Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden
106.4	83.1	140.0
120.4	82.6	145.6
110.3	82.3	137.2
123.7	84.0	146.7
107.5	86.8	142.8
112.6	92.9	140.0
109.2	90.7	141.1
108.5	84.0	138.9
108.5	84.0	141.1
112.6	85.1	140.0
104.2	89.6	137.2
107.5	90.7	137.8
110.3	91.1	141.1
105.3	86.3	143.9
110.3	88.5	139.4
113.0	90.7	140.0
117.8	88.4	137.8
114.2	87.3	137.3
113.2	88.4	140.6
116.5	92.9	142.7

	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden
Mittel:	111.6 mg	87.4 mg	140.5 mg
Schwankungen:	104.2—123.7 mg	82.3—92.9 mg	137.2—146.7 mg
Wahrscheinlicher Fehler	±3.97	±2.99	±1.95

Tabelle 1b.

Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden
109.5	86.5	139.8
110.3	86.6	140.2
108.8	85.6	141.0
110.0	85.8	140.8
107.9	87.2	138.9

Tabelle 2a.

Ammoniak-Stickstoff des Bodens im Laufe der Wachstumszeit, berechnet auf 1 kg wasserfreien Boden, in mg

Datum der Probenahme	Sandboden Geist	Lehmiger Sandboden Sprakel	Sandiger Lehmboden Benninghausen	Lenneschiefer Dreisborn	Tonboden Stromberg	Mittel	Regen mm
7. Januar 1927 . .	41.9	45.6	46.4	50.9	52.1	47.4	52.0
21. „ 1927 . .	8.7	12.1	9.2	12.5	23.0	13.1	
4. Februar 1927 . .	17.1	8.6	20.4	15.8	18.9	16.2	50.0
18. „ 1927 . .	17.1	8.6	10.1	15.3	8.5	13.9	
4. März 1927 . . .	10.8	12.9	13.8	16.6	8.3	12.5	53.0
18. „ 1927 . . .	47.5	16.4	9.9	16.7	10.8	20.3	
1. April 1927 . . .	13.7	8.5	6.9	11.2	15.4	11.2	104.0
15. „ 1927 . . .	6.4	1.1	2.3	4.5	9.5	4.8	
nach der Düngung							
6. Mai 1927	305.0	202.3	81.1	184.9	89.2	172.5	34.4
27. „ 1927	158.9	96.4	68.1	133.5	51.1	101.6	
30. „ 1927	60.2	72.8	10.6	93.8	27.4	53.0	
14. Juni 1927 . . .	49.8	49.8	13.3	43.5	16.3	34.5	135.0
30. „ 1927 . . .	16.4	14.2	8.7	6.4	18.0	12.7	
14. Juli 1927 . . .	4.0	2.1	2.2	6.4	10.1	5.0	86.0
28. „ 1927	15.7	10.0	6.4	6.2	15.1	10.7	
11. August 1927 . .	10.1	14.1	4.4	12.9	18.4	12.0	95.0
25. „ 1927 . .	1.1	13.3	1.7	11.0	14.0	8.6	
8. September 1927 .	6.1	12.1	6.5	8.6	9.1	8.5	19.6 v. 1. b. 8. Sept.

Tabelle 2b.

Salpetersäure-Stickstoff des Bodens im Laufe der Wachstumszeit, berechnet auf 1 kg wasserfreien Boden, in mg

Datum der Probenahme	Sandboden Geist	Lehmiger Sandboden Sprakel	Sandiger Lehmboden Benninghausen	Lenneschiefer Dreisborn	Tonboden Stromberg	Mittel
7. Januar 1927	4.8	2.7	4.4	1.4	1.4	2.9
21. „ 1927	7.8	7.8	7.1	9.4	3.7	7.2
4. Februar 1927	0.8	0.6	0.6	1.7	1.2	1.0
18. „ 1927	3.3	3.7	1.7	2.3	3.3	2.9
4. März 1927	0.5	0.5	0.9	0.8	0.9	0.7
18. „ 1927	14.9	4.2	8.8	9.0	9.0	9.2
1. April 1927	6.2	3.3	5.9	7.0	11.6	6.8
15. „ 1927	10.8	7.0	7.5	7.0	11.9	10.8
			nach der Düngung			
6. Mai 1927	153.9	42.6	174.6	91.5	44.1	101.3
27. „ 1927	100.1	55.9	106.6	77.3	36.0	75.2
30. „ 1927	50.1	38.1	100.0	77.3	41.3	61.4
14. Juni 1927	18.3	27.2	28.7	39.4	35.7	29.9
30. „ 1927	1.5	6.8	4.2	6.9	7.3	5.3
14. Juli 1927	2.1	2.7	2.8	2.7	6.4	3.5
28. „ 1927	1.0	1.0	2.2	1.6	2.8	1.7
11. August 1927	1.6	2.9	3.7	3.3	4.4	3.2
25. „ 1927	0.5	0.5	1.6	1.4	1.5	1.1
8. September 1927	1.3	1.3	3.6	3.6	2.4	2.4

Tabelle 3.

Gehalt des Bodens an leichtlöslichen Nährstoffen, berechnet auf 1 kg lufttrockenen Boden, in mg.

1. Stickstoff.

Nähere Angaben	Probenahme	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden	Mittel
Gesamtstickstoff	vor der Ernte	1330	945	1740	2070	1925	1601
	nach der Ernte Okt. 1926	1220	930	1610	1980	1770	1502
	„ „ „ März 1927	1230	980	1710	2010	1940	1594
Leichtlösl. Gesamtstickstoff	vor der Ernte	52.0	48.0	59.0	95.8	98.0	70.6
	nach der Ernte Okt. 1926	31.6	32.0	42.1	44.8	31.0	36.3
	„ „ „ März 1927	48.5	36.0	45.2	55.8	43.1	45.7
Ammoniak-Stickstoff	vor der Ernte	24.0	23.0	18.0	nicht best.	31.5	24.1
	nach der Ernte Okt. 1926	14.0	7.0	5.0	8.0	14.0	10.0
	„ „ „ März 1927	32.0	12.5	26.3	39.3	26.3	24.3
Salpetersäurestickstoff	vor der Ernte	5.85	9.00	15.30	19.80	14.40	12.87
	nach der Ernte Okt. 1926	3.60	1.40	4.10	4.50	2.70	3.26
	„ „ „ März 1927	4.50	3.60	6.80	6.80	6.80	5.70

2. Phosphorsäure.

durch 1%ige Zitronensäure gelöst	vor der Ernte	489.6	105.6	393.6	104.0	72.0	232.9
	nach der Ernte Okt. 1926	570.9	98.8	389.6	51.5	50.2	232.2
	„ „ „ März 1927	528.6	97.7	404.8	55.8	42.6	205.9
Wurzellöslich nach Neubauer	vor der Ernte	95.9	68.6	137.4	98.2	35.1	87.1
	nach der Ernte Okt. 1926	126.6	43.3	135.5	68.5	56.8	85.9
	„ „ „ März 1927	103.6	53.9	134.6	61.1	42.7	79.2

3. Kali.

durch 1%ige Zitronensäure gelöst	vor der Ernte	88.4	39.1	147.8	196.0	84.3	111.1
	nach der Ernte Okt. 1926	67.4	34.6	108.4	141.8	79.4	86.3
	„ „ „ März 1927	67.8	38.9	127.3	144.7	98.6	95.4
Wurzellöslich nach Neubauer	vor der Ernte	141.7	94.9	303.3	330.5	429.7	260.0
	nach der Ernte Okt. 1926	51.6	67.2	262.9	270.2	404.9	211.4
	„ „ „ März 1927	63.8	74.1	225.6	311.6	406.9	210.2

Tabelle 3a.

Vergleich der wurzel- (Neubauer) und zitronensäurelöslichen Nährstoffe in fünf Böden (mg in 1 kg Boden).

Nähere Angaben		Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Sandiger Lehmboden mg	Schieferboden mg	Tonboden mg	Mittel 1—4 mg	Gesamtmittel
		1	2	3	4	5		
Phosphorsäure.								
nach Neubauer	vor der Ernte .	95.9	68.6	137.4	98.2	(35.1)	100.0	93.7 mg
	nach der Ernte Oktober 1926	126.6	43.3	135.5	68.5	(56.8)	93.5	
	nach der Ernte März 1927	103.6	53.9	134.6	61.1	(42.7)	88.3	
Zitronensäurelöslich	vor der Ernte .	489.6	105.6	393.6	104.0	(72 0)	273.2	274.1 mg
	nach der Ernte Oktober 1926	570.9	98.8	389.6	51.5	(50.2)	277.7	
	nach der Ernte März 1927	528.6	97.7	404.8	55.8	(42.6)	271.7	
Kali.								
nach Neubauer	vor der Ernte .	141.7	94.9	303.3	330.5	(429.7)	217.6	185.3 mg
	nach der Ernte Oktober 1926	51.6	67.2	262.9	270.2	(404.9)	163.0	
	nach der Ernte März 1927	63.8	74.1	241.8	311.6	(406.9)	175.3	
Zitronensäurelöslich	vor der Ernte .	88.4	39.1	147.8	196.0	(84.3)	117.8	100.2 mg
	nach der Ernte Oktober 1926	67.4	34.6	108.4	141.8	(79.4)	88.1	
	nach der Ernte März 1927	67.8	38.9	127.3	144.8	(98.6)	94.7	

Tabelle 4.

Gehalt der Böden an leichtlöslichen Nährstoffen und Ergänzung derselben durch künstliche Düngemittel.

1. Gehalt der Böden, berechnet für 1 kg Boden, Sommer 1925.

	Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Lehmboden mg	Kalkboden mg	Tonboden mg	Schieferboden mg
	1	2	3	4	5	6
a) Gebrachter Teil.						
Stickstoff	38	71	31	50	73	39
Phosphorsäure	556	286	384	nicht bestimmt	274	192
Kali	116	148	106	„	227	238
b) Bepflanzt gewesener Teil.						
Stickstoff	42	64	29	43	31	34
Phosphorsäure	512	273	359	nicht bestimmt	262	170
Kali	68	87	75	„	208	165

2. Zuzuführende Mengen Nährstoffe für

a) Gebrachter Teil von 1.25 qm Fläche.

Bodengewicht 1 l	1.492 kg	1.317 kg	1.414 kg	1.220 kg	1.388 kg	1.323 kg
Bodengewicht 250 l	373.0 „	341.8 „	353.5 „	305.0 „	346.9 „	330.8 „
Stickstoff	15.7 g	3.1 g	17.3 g	9.2 g	2.4 g	13.6 g
Phosphorsäure	—	—	—	—	—	19.2 „
Kali	8.2 „	2.1 „	9.5 „	15.3 „	—	—

b) Bepflanzt gewesener Teil von 2.50 qm Fläche.

Bodengewicht 500 l	746.0 kg	685.5 kg	707.0 kg	610.0 kg	693.8 kg	661.5 kg
Stickstoff	28.3 g	11.0 g	36 0 g	22.6 g	32.0 g	30.4 g
Phosphorsäure	—	—	—	—	—	52.9 „
Kali	34.3 „	25.4 „	30.4 „	30.5 „	—	—

3. Demnach sind noch folgende Mengen an Düngemitteln zuzusetzen:

a) Gebrachter Teil von 1.25 qm Fläche.

Leunasalpeter (27% N)	58 g	12 g	64 g	34 g	9 g	50 g
Thomasmehl (15% N)	—	—	—	—	—	128 „
Kalisalz (40% N)	20 „	5.3 „	24 „	39 „	—	—

b) Bepflanzt gewesener Teil von 2.50 qm Fläche.

Leunasalpeter (27% N)	105 g	41 g	133 g	84 g	118 g	113 g
Thomasmehl (15% N)	—	—	—	—	—	353 „
Kalisalz (40% N)	86 „	62 „	76 „	76 „	—	—

4. Unter der Annahme, daß die fehlende Phosphorsäure gleich der zitronensäurelöslichen im Thomasmehl gesetzt werden kann, der in Form von Ammoniak und Salpetersäure im Leunasalpeter vorhandene Stickstoff 2,5 mal, das im 40%igen Kalisalz enthaltene Kali 2 mal höher ausgenutzt wird als die durch 1%ige Kaliumsulfat- bzw. 1%ige Zitronensäurelösung löslichen Bodennährstoffe (vgl. S. 17), werden die für 1 kg Boden vorhandenen leichtlöslichen Nährstoffe auf folgende Mengen erhöht:

Nährstoffe des Bodens	Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Lehmboden mg	Kalkboden mg	Tonboden mg	Schieferboden mg
	1	2	3	4	5	6
a) Gebrachter Teil.						
Stickstoff	143.0	94.5	145.5	125.0	90.5	141.5
Phosphorsäure	556.0	286.0	384.0	nicht bestimmt	274.0	250.0
Kali	160.0	160.0	160.0	„	227.0	238.0
b) Bepflanzt gewesener Teil.						
Stickstoff	137.0	104.0	156.5	135.5	153.5	149.0
Phosphorsäure	512.0	273.0	359.0	nicht bestimmt	262.0	250.0
Kali	160.0	160.0	160.0	„	208.0	165.0

Die Schwankungen in den einzelnen zugeführten Stickstoffmengen sind zum Teil, wie bei lehmigem Sand- und Tonboden[1]) sich nachträglich herausgestellt hat, durch fehlerhafte Bestimmung des Stickstoffs hervorgerufen.

Tabelle 5.

Ernte an Trockensubstanz auf 1 qm Boden.

Nähere Angaben	Sandboden g	Lehmiger Sandboden g	Lehmboden g	Kalkboden g	Tonboden g	Schieferboden g	Mitte
a) Vorher bepflanzter Teil.							
Körner	281.7	285.1	255.3	232.0	254.5	269.8	259.7
Stroh	534.6	552.6	584.5	483.2	451.3	579.3	545.4
Gesamternte	816.3	837.7	839.8	715.2	705.8	849.1	805.1
b) Vorher unbepflanzter Teil.							
Körner	315.6	—	324.9	242.7	—	321.1	301.1
Stroh	464.8	—	608.3	511.9	—	521.0	526.5
Gesamternte	780.4	—	933.2	754.6	—	842.1	827.6

[1]) Der gebrachte Teil des lehmigen Sandbodens ergab z. B. bei einer wiederholten Bestimmung 58.0 mg statt 71.0 mg Stickstoff in 1 kg Boden.

Tabelle 6.

Prozentualer Gehalt der Trockensubstanz an Nährstoffen.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Schieferboden	Mittel
a) Vorher bepflanzter Teil. (Stickstoff.)							
Körner	1.927	1.862	2.387	2.132	2.333	2.462	2.454
Stroh	0.812	0.517	0.921	0.787	0.889	0.806	0.832
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Stickstoff.)							
Körner	2.265	—	2.259	1.967	—	2.389	2.220
Stroh	0.846	—	0.891	0.747	—	0.734	0.805
a) Vorher bepflanzter Teil. (Phosphorsäure.)							
Körner	0.904	1.007	0.845	1.028	1.030	1.113	0.975
Stroh	0.523	0.300	0.411	0.395	0.518	0.467	0.449
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Phosphorsäure.)							
Körner	1.042	—	0.865	0.975	—	1.146	1.007
Stroh	0.577	—	0.436	0.371	—	0.386	0.443
a) Vorher bepflanzter Teil. (Kali.)							
Körner	0.811	0.712	0.539	0.629	0.720	0.670	0.662
Stroh	2.749	2.473	2.079	2.375	2.417	2.607	2.453
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Kali.)							
Körner	0.482	—	0.655	0.638	—	0.724	0.625
Stroh	3.023	—	2.157	2.560	—	2.840	2.645

Tabelle 7.

Aufgenommene Nährstoffe von 1 m² in Grammen.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Schieferboden	Mittel
a) Vorher bepflanzter Teil. (Stickstoff.)							
Körner	5.428	5.308	6.094	4.946	5.937	6.642	5.726
Stroh	4.341	2.857	5.383	3.803	4.589	4.589	4.274
Gesamt	9.769	8.165	11.477	8.749	10.526	11.311	10.000
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Stickstoff.)							
Körner	7.148	—	7.449	4.652	—	7.671	6.730
Stroh	3.132	—	3.066	3.824	—	3.841	3.466
Gesamt	11.080	—	10.515	8.476	—	11.512	10.196
a) Vorher bepflanzter Teil. (Phosphorsäure.)							
Körner	2.547	2.861	2.157	2.393	2.621	2.903	2.571
Stroh	2.796	1.658	2.401	1.909	2.338	2.705	2.301
Gesamt	5.343	4.519	4.558	4.302	4.959	5.608	4.872
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Phosphorsäure.)							
Körner	3.289	—	2.810	2.366	—	3.680	3.036
Stroh	2.682	—	2.652	1.899	—	2.011	2.311
Gesamt	5.971	—	5.462	4.265	—	5.691	5.347
a) Vorher bepflanzter Teil. (Kali.)							
Körner	2.285	2.030	1.375	1.459	1.832	1.710	1.732
Stroh	14.696	13.666	12.152	11.475	10.934	15.101	13.002
Gesamt	16.981	15.696	13.527	12.934	12.766	16.811	14.734
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Kali.)							
Körner	1.521	—	2.128	1.548	—	2.325	1.881
Stroh	14.051	—	13.121	13.105	—	14.796	13 769
Gesamt	15.572	—	15.249	14.653	—	17.121	15.650

Tabelle 8.

Prozentuale Ausnutzung der Nährstoffe.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Lehmboden	Kalkboden	Tonboden	Schieferboden	Mittel
a) Vorher bepflanzter Teil. (Stickstoff.)							
im Boden vorhanden	23.87	21.07	22.62	19.52	22.15	21.13	21.72
v. d. Pflanzen aufgen.	9.77	8.17	11.48	8.75	10.53	11.31	10.00
Ausnutzung	40.92	38.77	50.53	44.83	47 54	53.53	46.50
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Stickstoff.)							
im Boden vorhanden	23.87	—	22.63	19.52	—	21.16	21.79
v. d. Pflanzen aufgen.	11.08	—	10.52	8.48	—	11.51	10.40
Ausnutzung	46.42	—	46.49	43.42	—	54.35	47.20
a) Vorher bepflanzter Teil. (Phosphorsäure.)							
im Boden vorhanden	152.78	71.91	101.53	—	72.57	66.15	92.99
v. d. Pflanzen aufgen.	5.34	4.52	4.56	—	4.96	5.61	4.99
Ausnutzung	3.43	6.29	4.49	—	6.84	8.48	5.37
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Phosphorsäure.)							
im Boden vorhanden	165.91	—	108.60	—	—	66.15	113.55
v. d. Pflanzen aufgen.	5.97	—	5.46	—	—	5.69	5.71
Ausnutzung	3.59	—	5.03	—	—	8.61	5.03
a) Vorher bepflanzter Teil. (Kali.)							
im Boden vorhanden	34.02	32.66	33.37	—	57.62	43.66	40.26
v. d. Pflanzen aufgen.	16.98	15.70	13.53	—	12.77	16.81	15.16
Ausnutzung	49.94	48.07	40.55	—	22.16	38.50	37.65
b) Vorher unbepflanzter Teil. (Kali.)							
im Boden vorhanden	40.18	—	37.61	—	—	62.98	46.92
v. d. Pflanzen aufgen.	15.57	—	15.25	—	—	17.12	15.98
Ausnutzung	38.74	—	40.54	—	—	27.18	34.05

Tabelle 9.

Eigenschaften und Zusammensetzung von den fünf zu Vegetationsversuchen (Kartoffeln) verwendeten Böden.

1. Mechanische Untersuchung.

Diese wurde in der Feinerde der Böden unter 2 mm Korngröße nach dem Verfahren von Atterberg und der nach J. König und J. Hasenbäumer[1]) vorgeschlagenen Abänderung vorgenommen. Sie ergab folgendes:

Korngröße	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
	1	2	3	4	5
1—2 mm	3.38	0.18	0.28	5.88	0.36
1—0.5 „	16.06	1.84	0.64	7.16	2.50
0.5—0.2 „	24.88	21.32	2.04	6.00	11.68
0.2—0.01 „	46.16	64.24	72.96	34.16	26.52
0.01—0.002 „	3.92	3.90	10,88	23.76	20.38
unter 0.002 „	4.44	7.06	12.48	22.20	37.90

2. Physikalische Untersuchung.

Spezifisches Gewicht .	2.610	2.588	2.573	2.549	2.551
Volumengewicht . . .	1.450 kg	1.404 kg	1.364 kg	1.448 kg	1.422 kg
Porenvolumen	55.56 %	54.19 %	53.05 %	56.75 %	55.75 %
Porenkapazität . . .	16.53 %	14.02 %	11.76 %	5.97 %	3.47 %
Wasser d. lufttr. Bodens	0.93 %	1.28 %	2.40 %	4.27 %	7.58 %
100 g lufttr. Bodens nahmen Wasser auf .	26.98 g	30.51 g	32.79 g	33.01 g	33.30 g
Wasserhaltende Kraft des luftr. Bodens .	27.91 %	31.79 %	35.19 %	37.28 %	40.88 %

3. Chemische Untersuchung.

Bestandteile	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
Chemisch gebundenes Wasser	0.37 %	0.72 %	1.28 %	2.55 %	2.78 %
Humus	2.13 %	1 56 %	2.28 %	2.99 %	2.52 %
Stickstoff	0.127 %	0.094 %	0.170 %	0.194 %	0.190 %
Mineralstoffe	96.57 %	95 44 %	94.04 %	89.74 %	87.12 %
Reaktion PH.	4.4	6.2	7.0	5,9	> 7.0

[1]) J. König, Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe Bd. I S. 10.

Bestandteile	Sandboden %	Lehmiger Sandboden %	Sandiger Lehmboden %	Schieferboden %	Tonboden %
Durch konzentrierte Salzsäure gelöst.					
Siliciumdioxyd . . .	0.049	0.056	0.058	0.059	0.091
Calciumoxyd	0.108	0.245	0.534	0.325	1.790
Magnesiumoxyd . . .	0.114	0.112	0.324	0.670	0.395
Ferrioxyd	1.085	1.231	2.237	4.819	2.958
Tonerde	0.354	0.676	2,421	2.867	2.863
Manganoxydoxydul .	0.040	0.041	Spur	0.280	0.751
Kaliumoxyd	0.080	0.087	0.177	0.151	0.285
Phosphorpentoxyd . .	0.136	0.064	0.148	0.154	0.070
Durch konzentrierte Schwefelsäure aufgeschlossen.					
Siliciumdioxyd	3.930	4.970	9.900	18.300	20.370
Tonerde	1.200	1.330	2.700	8.350	7.820
Calciumoxyd	0.026	0.328	0.130	0.025	Spur
Magnesiumoxyd . . .	0.089	0.137	0.212	0.218	0.373
Kaliumoxyd	0.088	0.106	0.123	0.425	0.679

4. Leichtlösliche Nährstoffe.

mg in 1 kg Boden.

Nährstoffe	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
Stickstoffe:					
Gesamtstickstoff . . .	1270	940	1700	1940	1900
in 1% Kaliumsulfatlösung löslicher Gesamtstickstoff . . .	52.0	48.0	59.0	95.8	98.0
Ammoniakstickstoff .	24.0	23.0	18.0	—	31.5
Salpeterstickstoff . .	5.9	9.0	15.3	19.8	14.4
Phosphorsäure:					
durch 1% Zitronensäure gelöst	489.6	105.6	393.6	104.0	72.0
nach Neubauer . . .	95.3	68.6	137.4	98.2	35.1
Kali:					
durch 1% Zitronensäure gelöst	88.4	39.1	147.8	196.0	84.3
nach Neubauer . . .	141.7	94.9	305.3	330.5	429.7

Wenn man nach den bisherigen hiesigen Versuchen für eine Vollernte als genügenden Vorrat an aufnehmbaren Nährstoffen annimmt, wenn durch 1%ige Zitronensäurelösung für 1 kg Boden in 20 cm Bodentiefe gelöst werden:

Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
150 mg	250 mg	160 mg

so haben den vorstehenden Böden gefehlt (—) bzw. sind zuviel (+) vorhanden:

Nährstoffe	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
Stickstoff	— 98.0	—102.0	— 91.0	— 54.2	— 52.0
Phosphorsäure . .	+239.6	—144.4	+143.6	—146.0	—188.0
Kali	— 77.6	—120.9	— 12.2	+ 36 0	— 75.7

Tabelle 10.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
	1	2	3	4	5
a) Gesamternte an Knollen und Laub (Blätter und Stengel in frischem bzw. lufttrockenem Zustande) im Jahre 1926 auf 10 qm Boden.					
Knollen:					
Gesamtgewicht . .	29.840 kg	30.740 kg	38.440 kg	38.530 kg	23.910 kg
Wassergehalt . .	77.83 %	77.42 %	77.82 %	77.26 %	77.41 %
Laub:					
Gesamtgewicht . .	1.490 kg	5.940 kg	2.110 kg	3.030 kg	1.455 kg
Wassergehalt . .	38.38 %	66.54 %	34.42 %	44.08 %	50.97 %
b) Gesamternte an Trockensubstanz.					
Knollen	6.616 kg	7.033 kg	8.526 kg	8.762 kg	5.397 kg
Laub	0.918 „	1.993 „	1.384 „	1.694 „	0.713 „
Gesamternte . . .	7.534 „	9.026 „	9.910 „	10.456 „	6.110 „
c) Ernte an frischen Knollen bzw. Knolltrockensubstanz für 1 a = kg oder 1 ha = dz.					
frische Knollen . .	298.40	307.40	384.40	385.30	239.10
Knollentrockensubstanz	66.16	70.33	85.26	87.62	53.97

Tabelle 11.

Prozentualer Gehalt der Trockensubstanz.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
			Stickstoff:		
Knollen	1.288	1.403	1.342	1.314	1.190
Laub	1.674	2.128	1.781	1.793	2.129
			Phosphorsäure:		
Knollen	0.616	0.564	0.526	0.541	0.666
Laub	0.303	0.361	0.261	0.276	0.386
			Kali:		
Knollen	2.578	2.080	2.658	2.787	2.739
Laub	2.705	(0.874)	2.713	2.993	1.888

Tabelle 12.

Aufgenommen an Nährstoffen von 10 qm in g.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
			Stickstoff:		
Knollen	85.214	98.673	114.419	115.133	64.224
Laub	15.367	41.411	24.649	30.373	15.180
Gesamt	100.581	140.084	139.068	145.506	79.704
			Phosphorsäure:		
Knollen	40.754	39.666	44.846	47.402	35.944
Laub	2.782	7.205	3.612	4.675	2.752
Gesamt	43.536	46.871	48.458	52.077	38.696
			Kali:		
Knollen	170.550	146.286	226.621	244.197	147.824
Laub	24.832	17.419	37.548	50.701	13.461
Gesamt	195.382	163.705	264.169	294.898	161.285

Tabelle 13.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden	Mittel Nr. 1—4
a) Ausnutzung der zitronensäurelöslichen Nährstoffe in %.						
Stickstoff:						
im Boden vorhanden .	148.80	134.74	160.82	277.34	278.61	180.42
von den Kartoffeln und Laub aufgenommen .	100.58	147.75	139.07	145.51	79.40	133.23
Ausnutzung	67.59	109.65	86.40	52.46	28.14	72.77
Phosphorsäure:						
im Boden vorhanden .	1419.80	296.40	1073.30	201.10	204.70	747.65
von den Kartoffeln und Laub aufgenommen .	43.54	46.87	48.46	52.08	38.70	47.74
Ausnutzung	3.05	15.81	4.51	25.89	18.90	6.38
Kali:						
im Boden vorhanden .	256.40	109.80	403.10	567.40	239.70	334.17
von den Kartoffeln und Laub aufgenommen .	195.38	163.71	264.17	294.90	161.29	229.54
Ausnutzung	76.20	149.09	65.53	51.97	67.29	68.69
b) Ausnutzung der nach Neubauer löslichen Nährstoffe in %.						
Phosphorsäure:						
im Boden vorhanden .	276.40	69.10	374.70	284.30	99.80	151.12
von den Kartoffeln und Laub aufgenommen .	43.54	46.87	48.46	52.08	38.70	47.74
Ausnutzung	15.75	67.83	12.93	15.15	38.79	19.01
Kali:						
im Boden vorhanden .	410.90	266.80	827.10	956.80	1221.60	615.40
von den Kartoffeln und Laub aufgenommen .	195.38	163.71	264.17	294.90	161.29	229.54
Ausnutzung	47.55	61.36	31.94	30.81	13.20	37.29

Tabelle 14.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden
a) Prozentualer Gehalt der Knollentrockensubstanz.					
Stickstoff:					
Kartoffeln	1.288	1.403	1.342	1.314	1.190
Phosphorsäure:					
Kartoffeln	0.616	0.564	0.526	0.541	0.666
Kali:					
Kartoffeln	2.578	2.080	2.658	2.787	2.739
b) Aufgenommen an Nährstoffen von 10 qm in g.					
Stickstoff:					
Kartoffeln	85.214	98.673	114.419	115.133	64.224
Phosphorsäure:					
Kartoffeln	40.754	39.666	44.846	47.402	35.944
Kali:					
Kartoffeln	170.550	146.286	226.621	244.197	147.824

Tabelle 15.

Nähere Angaben	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Schieferboden	Tonboden	Mittel Nr. 1—4
	1	2	3	4	5	
a) Prozentuale Ausnutzung der zitronensäurelöslichen Nährstoffe.						
Stickstoff:						
im Boden vorhanden . . .	148.80	134.74	160.82	277.34	278.61	180.55
von den Kartoffeln aufgenommen	85.22	98.67	114.42	115.13	64.22	103.36
Ausnutzung in %	57.29	78.90	71.14	41.51	23.05	57.24
Phosphorsäure:						
im Boden vorhanden . .	1419.80	296.40	1073.30	201.10	204.70	747.60
von den Kartoffeln aufgenommen	40.75	39.67	44.85	47.40	35.94	42.41
Ausnutzung in %	2.87	13.39	4.18	23.56	17.55	5.67
Kali:						
im Boden vorhanden . .	256.40	109.80	403.10	567.40	239.70	334.10
von den Kartoffeln aufgenommen	170.55	146.29	226.62	244.20	147.82	196.90
Ausnutzung in % . . .	66.48	133.23	56.22	43.04	61.67	58.93
b) Prozentuale Ausnutzung der nach Neubauer löslichen Nährstoffe.						
Phosphorsäure:						
im Boden vorhanden . .	276.40	69.10	374.70	284.30	99.80	251.10
von den Kartoffeln aufgenommen	40.75	39.67	44.85	47.40	35.94	42.41
Ausnutzung in %	14.74	57.40	11.97	16.67	36.01	16.89
Kali:						
im Boden vorhanden . .	410.90	266.80	827.10	956.80	1221.60	615.40
von den Kartoffeln aufgenommen	170.55	146.29	226.62	244.20	147.82	196.90
Ausnutzung in %	41.51	54.83	27.40	25.52	12.10	31.99

Tabelle 16.

Nährstoffe	Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Sandiger Lehmboden mg	Schieferboden mg	Tonboden mg
	1	2	3	4	5
a) Ursprünglicher Gehalt an zitronensäurelöslichen Nährstoffen für 1 kg Boden.					
Stickstoff	40.1	26.5	43.6	50.3	37.1
Phosphorsäure . .	549.7	98.2	397.2	53.6	46.4
Kali	67.6	36.7	117.8	143.2	89.0
b) Zugesetzte lösliche Nährstoffe.					
Parzelle I:					
Stickstoff	90.7	115.0	98.7	86.0	95.0
Phosphorsäure . .	—	—	—	—	—
Kali	—	—	—	—	—
Parzelle II:					
Stickstoff	90.7	115.0	98.7	86.0	95.0
Phosphorsäure . .	54.4	148.0	54.4	210.6	216.0
Kali	96.2	144.2	49.0	45.0	99.4
Parzelle III:					
Stickstoff	90.7	115.0	98.7	86.0	95.0
Phosphorsäure . .	—	148.0	—	210.6	216.0
Kali	96.2	—	49.0	—	—
c) Gesamtlösliche Nährstoffe.					
Parzelle I:					
Stickstoff	130.8	141.5	142.3	136.3	132.1
Phosphorsäure . .	549.7	98.2	397.2	53.6	46.4
Kali	67.6	36.7	117.8	143.2	89.0
Parzelle II:					
Stickstoff	130.8	141.5	142.3	136.3	132.1
Phosphorsäure . .	604.1	246.2	451.6	264.2	262.4
Kali	163.4	180.9	166.8	188.2	188.4
Parzelle III:					
Stickstoff	130.8	141.5	142.3	136.3	132.1
Phosphorsäure . .	549.7	246.2	397.2	264.2	262.4
Kali	163.4	36.7	166.8	143.2	89.0

Tabelle 17.

Nährstoffe	Sandboden mg	Lehmiger Sandboden mg	Sandiger Lehmboden mg	Schieferboden mg	Tonboden mg
	1	2	3	4	5
a) Ursprünglicher Gehalt an leichtlöslichen Nährstoffen nach Neubauer in 1 kg Boden.					
Phosphorsäure . .	115.1	48.6	135.1	64.8	49.7
Kali	57.7	70.6	244.2	291.9	406.9
b) Zugesetzte lösliche Nährstoffe.					
Parzelle I:					
Phosphorsäure . .	—	—	—	—	—
Kali	—	—	—	—	—
Parzelle II:					
Phosphorsäure . .	54.4	148.0	54.4	210.6	216.0
Kali	96.2	144.2	49.0	45.0	99.4
Parzelle III:					
Phosphorsäure . .	—	148.0	—	210.6	216.0
Kali	96.2	—	49.0	—	—
c) Gesamtlösliche Nährstoffe.					
Parzelle I:					
Phosphorsäure . .	115.1	48.6	135.1	64.8	49.7
Kali	57.7	70.6	244.2	291.9	406.9
Parzelle II:					
Phosphorsäure . .	169.5	196.6	189.5	275.4	265.7
Kali	153.9	214.8	293.2	336.9	501.3
Parzelle III:					
Phosphorsäure . .	115.1	196.6	135.1	275.4	265.7
Kali	153.9	70.6	293.2	291.9	406.9

Tabelle 18.

Böden	Parzelle	Ernte an frischen Knollen und teilweise lufttrockenem Laub kg von 10 qm: Knollen	Proz. Wasser	Laub	Proz. Wasser	Gesamternte an Trockensubstanz kg von 10 qm: Knollen	Laub	Gesamtgewicht
Sandboden	I	35.250	78.44	2.400	37.96	7.599	1.489	9.088
	II	39.510	79.29	2.610	30.98	8.183	1.801	9.984
	III	41.370	78.45	2.790	33.67	8.915	1.851	10.766
Lehmiger Sandboden	I	34.350	76.58	3.960	49.11	8.045	2.015	10.050
	II	39.450	77.43	4.350	43.76	8.904	2.446	11.350
	III[1])	(32.700*)	76.61	3.000	40.32	(7.649*)	1.790	(8.438)
Sandiger Lehmboden	I	36.000	77.22	2.550	33.03	8.201	1.708	9.909
	II	36.150	77.32	2.400	25.87	8.199	1.779	9.978
	III	39.150	76.78	2.850	38.87	9.091	1.737	10.828
Schieferboden	I	30 000	77.77	3.240	53.83	6.669	1.505	8.174
	II	35.454	77.02	1.890	25.20	8.147	1.414	9.561
	III[1])	(26.400*)	77.39	1.500	30.92	(5.969*)	1.036	(7.005)
Tonboden	I	23.100	75.70	3.090	68.83	5.613	1.273	6.886
	II	27.648	76.59	2.250	51.60	6.663	1.089	7.752
	III[1])	(23.700*)	75.37	2.760	60.43	(5.837*)	1.092	(6.929)

Tabelle 19.

Bodenart	Stickstoff			Phosphorsäure			Kali		
	Parzelle I	Parzelle II	Parzelle III	Parzelle I	Parzelle II	Parzelle III	Parzelle I	Parzelle II	Parzelle III
a) Prozentualer Gehalt der Knollentrockensubstanz an:									
Sandboden	1.375	1.277	—	0.672	0.686	0.672	2.433	2.869	3.057
Lehm. Sandboden .	1.509	1.495	—	0.506	0.542	0.566	2.096	2.654	2.786
Sand. Lehmboden .	1.541	1.289	—	0.637	0.636	0.570	2.629	2.605	2.833
Schieferboden . . .	1.425	1.348	—	0.537	0.547	0.481	2.717	2.746	2.721
Tonboden	1.232	1.154	—	0.449	0.588	0.571	2.659	2.807	2.889
b) Aufgenommene Nährstoffe in der Ernte von 10 qm Boden in Gramm.									
Sandboden	104.49	104.50	—	51.06	55.89	59.71	184.88	234.77	272.53
Lehm. Sandboden .	121.40	133.11	—	40.71	48.26	—	168.62	236.31	—
Sand. Lehmboden .	126.38	105.68	—	52.24	52.15	51.81	215.60	213.58	257.55
Schieferboden . .	95.03	109.82	—	35.81	45.36	—	181.20	223.70	—
Tonboden	69.15	76.89	—	25.20	39.18	—	149.25	187.03	—

[1]) Die mit * versehenen Ernten der dritten Parzellen sind nicht mitberücksichtigt worden, da sie zuviel faule Kartoffeln hatten und deswegen nicht mit den anderen Ernten verglichen werden konnten.

Tabelle 20.

Ausnutzung der in 1%iger Zitronensäure löslichen Nährstoffe.

Nährstoffe	Parzelle I			Parzelle II			Parzelle III		
	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Sandboden.									
Im Boden 20 cm Tiefe	379.32	1594.13	196.04	397.32	1751.89	473.86	—	1594.13	473.86
In der Ernte	104.49	51.06	184.88	104.50	55.89	234.77	—	59.71	272.53
Ausnutzung in % . .	27.55	3.20	94.28	27.55	3.18	49.54	—	3.74	57.51
Lehmiger Sandboden.									
Im Boden 20 cm Tiefe	397.19	275.65	103.02	397.19	691.09	507.79	—	—	—
In der Ernte	121.40	40.71	168.62	133.11	48.26	236.31	—	—	—
Ausnutzung in % . .	30.65	14.79	163.67	33.51	6.98	46.53	—	—	—
Sandiger Lehmboden.									
Im Boden 20 cm Tiefe	388.05	1083.16	321.24	388.05	1231.51	454.86	—	1083.16	454.86
In der Ernte	126.38	52.24	215.60	105.68	52.45	213.58	—	51.81	257.55
Ausnutzung in % . .	32.56	4.82	67.11	27.23	4.26	46.95	—	4.79	56.62
Schieferboden.									
Im Boden 20 cm Tiefe	394.59	155.17	414.56	394.59	764.86	544.84	—	—	—
In der Ernte	95.03	35.81	181.20	109.82	45.36	223.70	—	—	—
Ausnutzung in % . .	24.09	23.08	43.71	27.83	5.93	40.69	—	—	—
Tonboden.									
Im Boden 20 cm Tiefe	375.56	131.92	253.03	375.56	746.00	535.62	—	—	—
In der Ernte	69.15	25.20	149.25	76.89	39.18	187.03	—	—	—
Ausnutzung in % . .	18.41	19.10	58.98	20.47	5.25	34.92	—	—	—

Tabelle 21.

Ausnutzung der nach dem Neubauer-Verfahren gefundenen löslichen Bodennährstoffe.

Nährstoffe	Parzelle I		Parzelle II		Parzelle III	
	Phosphorsäure	Kali	Phosphorsäure	Kali	Phosphorsäure	Kali
Sandboden.						
Im Boden 20 cm Tiefe	333.79	167.33	481.55	446.31	333.79	446.31
In der Ernte . .	51.06	184.88	55.89	234.77	59.71	272.53
Ausnutzung in %	15.29	110.48	11.19	50.36	17.88	61.06
Lehmiger Sandboden.						
Im Boden 20 cm Tiefe	136.18	198.17	551.86	602.94	—	—
In der Ernte . .	40.71	168.62	48.26	236.31	—	—
Ausnutzung in %	29.89	85.08	8.73	39.19	—	—
Sandiger Lehmboden.						
Im Boden 20 cm Tiefe	368.42	665.93	516.77	799.56	368.42	799.56
In der Ernte . .	52.24	215.60	52.15	213.58	51.81	257.55
Ausnutzung in %	14.18	32.39	10.15	26.71	14.07	32.21
Schieferboden.						
Im Boden 20 cm Tiefe	187.60	845.05	797.29	976.33	—	—
In der Ernte . .	35.81	181.20	45.36	223.70	—	—
Ausnutzung in %	19.09	21.44	5.69	23.02	—	—
Tonboden.						
Im Boden 20 cm Tiefe	141.30	1157.80	755.39	1425.19	—	—
In der Ernte . .	25.20	149.25	39.18	187.03	—	—
Ausnutzung in %	17.83	12.90	51.68	13.12	—	—

Tabelle 22.

Vergleich zwischen der prozentualen Ausnutzung der wurzel- (Neubauer) und zitronensäurelöslichen Nährstoffe durch Kartoffeln.

Nähere Angaben	Sandboden %	Lehmiger Sandboden %	Sandiger Lehmboden %	Schieferboden %	Tonboden %	Mittel 1—4 %	Gesamtmittel
	1	2	3	4	5		
Phosphorsäure.							
1926 nach Neubauer	14.74	57.40	11.97	16.67	(36.01)	25.19	
1927 „ „ Parzelle I .	15.29	29.89	14.18	19.09	(17.83)	19.61	18.35 %
1927 „ „ Parzelle II .	14.43	8.73	12.11	5.69	(51.68)	10.26	
1926 zitronensäurelöslich . . .	2.87	13.39	4.18	23.56	(17.55)	11.00	
1927 „ Parzelle I .	3.20	14.79	4.82	23.08	(19.10)	11.47	9.18 %
1927 „ Parzelle II .	3.18	6.98	4.26	5.93	(5.25)	5.09	
Kali							
1926 nach Neubauer	41.51	54.83	27.40	25.52	(12.10)	31.99	
1927 „ „ Parzelle I .	110.48	85.08	32.39	21.44	(12.90)	62.59	43.82 %
1927 „ „ Parzelle II .	55.71	39.19	29.64	23.02	(13.12)	36.89	
1926 zitronensäurelöslich . . .	66.48	133.23	56.22	43.04	(61.67)	58.93	
1927 „ Parzelle I .	94.28	163.67	67.11	43.90	(58.98)	92.49	66.74 %
1927 „ Parzelle II .	49.54	46.53	46.95	40.69	(34.92)	48.80	

Die vorstehenden Untersuchungen wurden in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster i. W. ausgeführt.

Es ist mir ein Bedürfnis, dem Leiter der Versuchsstation, Herrn Prof. Dr. A. Bömer, für sein Wohlwollen und weitgehendes Entgegenkommen aufrichtig zu danken.

Ganz besonderen Dank schulde ich auch Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. J. König und Herrn Dr. J. Hasenbäumer, auf deren Anregung und unter deren Leitung die vorliegende Arbeit entstand, für ihre selbstlose Unterstützung.

Lebenslauf.

Ich bin am 28. November 1897 in Hamme bei Bochum geboren. Mein Vater ist der Betriebsführer August Lohmann in Katernberg bei Essen. Von meinem 6. bis 9. Lebensjahre besuchte ich die Volksschulen in Gladbeck, Altenbochum, Katernberg bei Essen und darauf das Reform-Realgymnasium in Katernberg, wo ich im Jahre 1916 das Reifezeugnis erhielt. Im August 1916 wurde ich zum Pionierbataillon Nr. 27, Trier, einberufen und ausgebildet. Mit diesem Bataillon kämpfte ich auf den verschiedensten Kriegsschauplätzen der Westfront. Nach Entlassung aus dem Heeresdienst im Februar 1919 widmete ich mich in Münster i. W. dem Studium der Naturwissenschaften, insbesondere dem Studium der Chemie. Daselbst machte ich meine beiden Verbandsprüfungen und bestand am 29. Februar 1928 die mündliche Doktorprüfung.